



HAL
open science

Trajectoire d'évolution d'un système deltaïque anthropisé: le delta du Danube: étude couplée par les archives cartographiques et sédimentaires

Tiberiu Groparu

► **To cite this version:**

Tiberiu Groparu. Trajectoire d'évolution d'un système deltaïque anthropisé: le delta du Danube: étude couplée par les archives cartographiques et sédimentaires. Géographie. Université Toulouse le Mirail - Toulouse II, 2020. Français. NNT : 2020TOU20077 . tel-03609137

HAL Id: tel-03609137

<https://theses.hal.science/tel-03609137v1>

Submitted on 15 Mar 2022

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.



THÈSE

En vue de l'obtention du
DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

Délivré par l'Université Toulouse 2 - Jean Jaurès

Présentée et soutenue par
Tiberiu GROPARU

Le 10 décembre 2020

Trajectoire d'évolution d'un système deltaïque anthropisé : le delta du Danube - Etude couplée par les archives cartographiques et sédimentaires

Ecole doctorale : **TESC - Temps, Espaces, Sociétés, Cultures**

Spécialité : **Environnement et sociétés**

Unité de recherche :

GEODE - Géographie de l'Environnement

Thèse dirigée par

Jean-Marc ANTOINE et Jean-Michel CAROZZA

Jury

Mme Liliana Zaharia, Rapporteur

M. Marc Galochet, Rapporteur

Mme Sylvie Servain, Examinatrice

M. Marcel Mindrescu, Examineur

M. Jean-Marc Antoine, Co-directeur de thèse

M. Jean-Michel Carozza, Co-directeur de thèse

**Trajectoire d'évolution d'un système deltaïque anthropisé :
le delta du Danube
Etude couplée par les archives cartographiques et
sédimentaires**

Présentée et soutenue par :

Tiberiu GROPARU

Thèse dirigée par :

Jean-Marc ANTOINE et Jean-Michel CAROZZA

Sommaire

| | |
|--|-----|
| Sommaire | 1 |
| Remerciements | 5 |
| Acronymes | 7 |
| Introduction générale | 9 |
| <u>Première Partie - Contexte scientifique et objet d'étude</u> | 13 |
| Introduction première partie | 13 |
| Chapitre 1 - Les deltas dans le monde | 15 |
| 1.1 Localisation des deltas..... | 16 |
| 1.2 Typologie des deltas..... | 17 |
| 1.3 La morphologie et stratigraphie des deltas..... | 25 |
| 1.4 Les facteurs de contrôle..... | 33 |
| Conclusion du chapitre 1..... | 44 |
| Chapitre 2 - Le Danube, son bassin versant et son delta | 47 |
| 2.1 Le bassin versant du Danube..... | 48 |
| 2.2 Delta du Danube..... | 64 |
| Conclusion du chapitre 2..... | 83 |
| Chapitre 3 – Le delta du Danube : une histoire mouvementée | 85 |
| 3.1 Histoire de la présence humaine dans le delta, du Paléolithique à l'Epoque Moderne..... | 86 |
| 3.2 L'Epoque Contemporaine et le contexte politique..... | 93 |
| 3.3 La dynamique démographique et l'évolution des villages et des groupes ethniques dans le delta du Danube..... | 102 |
| Conclusion du chapitre 3..... | 114 |
| Chapitre 4 - Etat des connaissances sur la formation et l'évolution du delta | 117 |
| 4.1 Les travaux pionniers (1868-1950)..... | 117 |
| 4.2 Le temps des synthèses (1950-1970)..... | 121 |
| 4.3 Un renouvellement des données (les années '60)..... | 122 |
| 4.4 Les chronologies basées sur les données absolues (1970 à aujourd'hui)..... | 124 |
| Conclusion du chapitre 4..... | 130 |
| Conclusion première partie | 131 |
| <u>Deuxième Partie - Sources, méthodes et outils : un dispositif hybride</u> | 133 |
| Introduction deuxième partie | 133 |
| Chapitre 5. Les archives sédimentaires et l'approche géoarchéologique | 135 |
| 5.1 Acquisition des données de terrain - Stratégie de carottage..... | 135 |
| 5.2 Analyse des structures sédimentaires – les faciès..... | 139 |
| 5.3 La spectrorimétrie et la susceptibilité magnétique..... | 144 |
| 5.4 La granulométrie et le diagramme CM..... | 155 |
| 5.5 La perte au feu..... | 158 |
| 5.6 Les datations..... | 159 |
| 5.7 La palynologie..... | 160 |
| Conclusion du chapitre 5..... | 161 |
| Chapitre 6. Les archives textuelles et iconographiques et l'approche géohistorique | 163 |
| 6.1 Acquisition des données d'archives : des sources variées..... | 163 |
| 6.2 L'analyse qualitative des cartes..... | 169 |
| 6.3 L'analyse quantitative des cartes – le SIG..... | 171 |

| | |
|---|------------|
| 6.4 Les limites de l'approche géohistorique..... | 174 |
| Conclusion du chapitre 6..... | 175 |
| Conclusion deuxième partie..... | 176 |
| | |
| <u>Troisième partie - Les archives sédimentaires de la partie fluviale du delta du Danube.....</u> | 179 |
| Introduction troisième partie..... | 179 |
| Chapitre 7. La dépression lacustre de « Pardina »..... | 183 |
| 7.1 Carotte ParLac..... | 184 |
| 7.2 Carotte ParCan..... | 191 |
| 7.3 Carotte Stipoc..... | 199 |
| Conclusion du chapitre 7..... | 205 |
| Chapitre 8. Les environs du vieux Canal « Sontea »..... | 207 |
| 8.1 Carotte Sontea01..... | 209 |
| 8.2 Carotte Sontea02..... | 216 |
| 8.4 Carotte TaraLog14..... | 222 |
| 8.6 Carotte TaraLog24..... | 234 |
| Conclusion du chapitre 8..... | 240 |
| Chapitre 9. La région des « Méandres de Mila »..... | 243 |
| 9.1 Carotte Caz01..... | 245 |
| 9.2 Carotte Caz02..... | 253 |
| 9.3 Carotte Mila..... | 259 |
| Conclusion du chapitre 9..... | 265 |
| Conclusion troisième partie..... | 267 |
| | |
| <u>Quatrième partie – Les archives textuelles et iconographiques de l’Antiquité à l’Epoque Contemporaine.....</u> | 271 |
| Introduction quatrième partie..... | 271 |
| Chapitre 10. Les sources anciennes de l’Antiquité à l’Epoque Moderne..... | 273 |
| 10.1 La période antique..... | 273 |
| 10.2 Le Moyen Age..... | 282 |
| 10.3 L’époque moderne..... | 286 |
| Conclusion du chapitre 10..... | 286 |
| Chapitre 11. L’époque contemporaine jusqu’à la création de la CED (1771-1856)... | 299 |
| 11.1 Le delta sur les cartes à petite échelle..... | 299 |
| 11.2 Les cartes du cours du Danube..... | 302 |
| 11.3 Les cartes du delta du Danube..... | 302 |
| 12.4 Les projets d’aménagement dans le delta du Danube..... | 312 |
| 12.5 Les récits des voyageurs..... | 314 |
| Conclusion du chapitre 11..... | 318 |
| Chapitre 12. L’époque contemporaine après la création de la CED (1856-1940)..... | 321 |
| 12.1 Les productions cartographiques..... | 321 |
| 12.2 La Commission Européenne du Danube et l’aménagement du Bras de Sulina..... | 338 |
| 12.3 Grigore Antipa et les aménagements à l’intérieur du delta..... | 349 |
| Conclusion du chapitre 12..... | 353 |
| Chapitre 13. L’aménagement intensif des plaines alluviales à partir des sources iconographiques après la Deuxième Guerre mondiale (1944 - 2010)..... | 355 |
| 13.1 Les productions cartographiques..... | 356 |
| 13.2 Les images ortho-photo..... | 366 |

| | |
|--|------------|
| 13.3 SIG - L'analyse quantitative..... | 368 |
| Conclusion du chapitre 13..... | 392 |
| Chapitre 14. L'aménagement intensif des plaines alluviales à partir des sources archivistiques après la Deuxième Guerre mondiale (1944 - 2020)..... | 395 |
| 14.1 L'exploitation du roseau..... | 395 |
| 14.2 Les fermes piscicoles..... | 401 |
| 14.3 Les fermes agricoles..... | 408 |
| 14.4 Les forêts..... | 411 |
| 14.5 La réserve de la Biosphère Delta du Danube..... | 414 |
| Conclusion du chapitre 14..... | 421 |
| Conclusion quatrième partie..... | 424 |
| Conclusion générale..... | 429 |
| Références bibliographiques..... | 437 |
| Liste des figures..... | 473 |
| Liste des tableaux..... | 481 |

Remerciements

Tout d'abord je remercie mes deux directeurs de thèse, **Jean-Michel CAROZZA** et **Jean-Marc ANTOINE**, pour leur encadrement et leurs conseils.

Je remercie également les membres du jury **Marc GALOCHET**, **Marcel MINDRESCU**, **Sylvie SERVAIN** et **Liliana ZAHARIA** qui ont accepté de participer au jury de thèse et notamment les rapporteurs qui ont bien voulu évaluer ce manuscrit.

Je tiens ensuite à remercier les structures et les personnes qui m'ont donné de multiples moyens permettant la réalisation de cette thèse :

L'Ecole Doctorale **TESC** pour leur soutien financier dans le cadre d'une bourse CDU.

Les programmes de recherches : **SEEG Delta du Danube** de l'INEE-CNRS ; **Mission Archéologique Delta du Danube** du MEAE et **Programme ArchéoMed** de l'INSU-CNRS pilotés par **Laurent CAROZZA**, ainsi que toute l'équipe qui a fait possible la réalisation des missions de terrain carottages et la datation des échantillons : **Philippe VALETTE**, **Albane BURENS**, **Robin FURESTIER**, **Erwan MESSAGER**, **François LEVEQUE**.

Le laboratoire **GEODE** et son directeur **Didier GALOP** pour son accueil et la mise à disposition de moyens techniques, **Hugues BARCET** pour tout son support technique et pour la formation ArcGis, au pôle gestion : **Sandrine BUSCAINO**, **Emilie GIL** et **Gilles CASONATO**, **Caroline LAMORTHE** et tous les autres membres du laboratoire avec lesquels j'ai eu l'occasion d'interagir pendant de nombreuses années : **Jean-Paul METAILIE**, **Vanessa PY-SARAGLIA**, **Florence MAZIER**, **Thomas HOUET**, **Guirec OLIVIER**, **Emmanuel CHAPRON**, **Cécile BRUN**, et bien-sûr **Emilie LERIGOLEUR**.

Le laboratoire **ECOLAB** pour son accueil pendant plusieurs mois et la mise à disposition de moyens techniques en salle de granulométrie laser ainsi que pour les analyses de perte au feu. Merci à **Franck GILBERT** et **Gael LE ROUX**, à **Frédéric JULIEN** pour ses bons conseils concernant la granulométrie laser et à **Jérôme SILVESTRE** pour l'aide dans la salle de perte au feu.

L'**Institut de Recherches Éco-Muséales** à Tulcea, le partenaire en Roumanie des programmes de recherches, et plus précisément **Cristian MICU** et **Sorin AILINCAI**, qui ont facilité la logistique des missions de terrain, très compliquée dans un milieu si particulier, ainsi que leurs collègues **Florian MIHAIL**, **Catalin MIHAIL**, **Ligia DIMA** et **Adina AILINCAI**, pour tout leur aide sur le terrain ou dans les archives et bibliothèques.

Le **Musée National d'Histoire de Roumanie** pour la mise à disposition de moyens techniques nécessaire aux missions de carottage. Merci à **Constantin HAITA** pour son aide sur le terrain et à **Valentin RADU** pour l'identification des échantillons coquillages.

L'**Institut de Recherche Delta du Danube** : je remercie particulièrement **Marian TUDOR** et **Romulus STIUCA**, ainsi que **Iulian NICHERSU**, **Veronica MOSMANU**,

Marian MIERLA et Cristian TRIFANOV pour m'avoir accepté parmi eux, et pour la mise à disposition des matériels sollicités.

L'Université de Iasi : merci à **Mihaela DANU** pour les analyses palynologiques.

Le Conseil Départemental de Tulcea : merci à **Dan DRAGAN, Constantin CABUZ** et **Nicolae VLAD** pour leur disponibilité et le matériel fourni.

Au sein de la **Reserve Biosphère Delta du Danube** je remercie **Grigore BABOIANU**, ainsi que **Corneliu IVANOV**, ancien directeur de la **Centrale Delta du Danube**.

Je n'oublie pas **Radu VASILE** et **Costel PETCU** de **Romsilva**, qui m'ont aidé à trouver des informations sur le passé et le présent de la forêt du delta.

Un grand merci à mes amis **Dana et Mihai MICU** de l'**Institut de Géographie à Bucarest** pour la mise à disposition des ressources de l'institut, ainsi qu'à **Alexandru DUMITRESCU** de l'**Administration Météorologique Nationale** de Roumanie.

Je remercie le professeur **Petre GASTESCU** pour sa disponibilité, toujours une source de connaissances et d'inspiration sur le sujet du delta du Danube.

A l'**Université de Bucarest - Faculté de Géographie** je remercie **Stefan CONSTANTINESCU, Alfred STROE VESPREMEANU, Luminita PREOTEASA** et **Florin TATUI**, qui ont accepté de me rencontrer et de partager avec moi leurs connaissances sur le delta du Danube.

Je remercie également le personnel de la **Bibliothèque de l'Académie Roumaine** à Bucarest et des **Archives Nationale** à Tulcea et Galati pour avoir facilité mon accès à des sources inédites.

Un clin d'œil à tous les doctorants présents et passés : **Anaëlle, Nico, Raquel, Fanny, France, Nafissa, Laure, Mathilde, Renaud, David T., David L., Yayé, Zoé, Léo, Valentina, Romain, Clara**, merci à vous pour le temps passé ensemble au labo ou en-dehors du travail.

Bien évidemment je n'oublie pas ma grande sœur dans la science **Mérodie** ainsi que **Hugo** et **Johann**, merci pour le temps passé au bureau, dans les laboratoires d'analyses, sur le terrain ou bien en dehors du travail. Merci à vous et merci pour tout !

Merci à mes parents **Rodica** et **Costica GROPARU**, mes sœurs **Raluca** et **Corina**, à mon beau-frère **Andrei**, à mon cousin **Sorin** et à toute ma famille en Roumanie pour m'avoir aidé, soutenu et encouragé, ainsi que pour leur patience.

Enfin à **Alexandrina**, mon épouse, et à notre fils **Marius** qui est arrivé parmi nous pendant ce voyage, fait qui a rendu cette aventure encore plus intéressante. Merci pour tout !

Acronymes

AA – Amenajare Agricola (Aménagement Agricole)

ADDJT – Asociatia de Dezvoltare Durabila a Judetului Tulcea (Association de Développement Durable du Département de Tulcea)

AEC – Avant l’Ere Commune

ANPA – Agentia Nationala pentru Pescuit si Acvacultura (Agence Nationale pour la Pêche et l’Aquaculture)

ANT – Arhivele Nationale Tulcea (Archives Nationales Tulcea)

ANG – Arhivele Nationale Galati (Archives Nationales Galati)

AP – Amenajare Piscicola (Aménagement Piscicole)

ARBDD – Administratia Rezervatiei Biosferei Delta Dunarii (Administration de la Réserve de la Biosphère Delta du Danube)

AS – Amenajare Silvica (Aménagement Sylvicole)

BSL – Base level

CDD – Centrala Delta Dunarii (Centrale Delta du Danube)

CED – Comisiunea Europeana a Dunarii (Commission Européenne du Danube)

CJT – Consiliul Judetea Tulcea (Conseil Départemental Tulcea)

DTM – Directia Topografica Militara (Direction Topographique Militaire)

DTS – Directia Silvica Tulcea (Direction Sylvicole de Tulcea)

EC – L’Ere Commune

GEODE – Géographie de l’environnement

GeoEcoMar – Institutul National de Cercetare-Dezvoltare pentru Geologie si Geoecologie Marina (L’Institut national de recherche et de développement en géologie et géoécologie marines)

IAS – Intreprinderea Agricola de Stat (Entreprise Agricole d’État)

IEVS – Intreprinderea de exploatare si valorificare a Stufului (Entreprise d’Exploitation et Valorisation du Roseau)

ICEM – Institutul de Cercetari Eco-Muzeale (Institut de Recherches Éco-Muséales)

ICPDD – Institutul de Cercetari si Proiectari Delta Dunarii (Institut de Recherche et Projets Delta du Danube)

ICRNUT – Intreprinderea de Constructii si Reparatii Nave si Utilaje Tulcea (Entreprise pour la Construction et la Réparation des navires et de l'équipement Tulcea)

IGAR – Institutul de Geografie al Academiei Romane (Institut de Géographie de l'Académie Roumaine)

IPP – Intreprinderea de Pescuit si Piscicultura (Entreprise Piscicole Tulcea)

IPT – Intreprinderea Piscicola Tulcea (Entreprise de Pêche et de Pisciculture)

IEMS – Institutul de Exploatare Mecanizata a Stufului (Institut d'Exploitation Mécanisée du Roseau)

IGM – Institutul Geografic Militar (Institut Géographique Militaire)

INCDDD – Institutul National de Cercetare Dezvoltare Delta Dunarii (Institut National de Recherche et Développement Delta du Danube)

INS – Institutul National de Statistica (Institut National de Statistique)

MAB – Man and the Biosphere Programme

MNIR – Muzeul National de Istorie al Romaniei (Musée National d'Histoire de Roumanie)

MUS – Mare Unitate Stuficola (Grande Unité d'exploitation du Roseau)

PAG – Petit Age Glaciaire

RAMSAR – The convention on Wetlands-Ramsar, Iran, 1971 (La convention sur les zones humides)

RBDD – Rezervatia Biosferei Delta Dunarii (Réserve de la Biosphère Delta du Danube)

Romsilva – Regia Nationala a Padurilor (Office National des Forêts)

SESDD – Statiunea Experimentală Stuficola Delta Dunarii (Station Expérimentale du Roseau Delta du Danube)

SIG – Système d'Information Géographique

Silvodelta – organisme qui a administré les forêts du delta du Danube de 1991 à 2002

TAVS – Trustul de Amenajare si Valorificare a Stufului (Trust d'Aménagement et Valorisation du Roseau)

UNESCO – United Nation Educational, Scientific and Cultural Organization

US – Unitate Stuficola (Unité d'exploitation du roseau)

Introduction générale

Contexte socio-environnemental

Les systèmes deltaïques sont des milieux très dynamiques, fragiles (Syvitski, 2008 ; Vorosmarty et al., 2009 ; Syvitski et al., 2009 ; Renaud et al., 2013 ; Ibanez et al., 2013), fortement anthropisés et dont le fonctionnement a été profondément altéré par des interventions humaines pluriséculaires, voire plurimillénaires, tant au niveau des paysages que des processus bio-géo-chimiques (Maselli & Trincardi, 2013 ; Anthony et al., 2013 ; Giosan et al., 2014). Pourtant, malgré ces profondes transformations, ils conservent une forte image de naturalité, peu en accord avec leur histoire (Picon, 1978, 1997). Les enjeux de gestion de ces espaces oscillent entre des logiques de protection et de développement économique. Le delta du Danube est paradigmatique de ce positionnement ambivalent. Il occupe dans l'imaginaire et la symbolique des populations roumaines, et au-delà européennes, une part de l'identité nationale.

Situé à l'exutoire d'un des plus grands fleuves européens avec un bassin versant de plus de 817 000 km², il s'agit de la zone humide la plus étendue d'Europe (4 150 km²) et en même temps de l'espace le moins densément peuplé de l'Union Européenne (moins de 3 habitants/km²). Classé en 1991 au patrimoine mondial de l'humanité de l'UNESCO pour sa biodiversité (Réserve Biosphère Delta du Danube - RBDD), le delta est un terrain de recherche privilégié pour les travaux écologiques sur la faune, la flore ou les dynamiques écosystémiques, car ce territoire est une mosaïque d'écosystèmes, présentant notamment de nombreux chenaux principaux et secondaires, des lacs, des zones humides couvertes par des roselières, des rides et des dunes sableuses, des forêts, mais aussi de grandes zones converties pour l'aquaculture et l'agriculture.

Pourtant, le delta du Danube est, à bien des égards, une zone dont le fonctionnement a été profondément modifié par les interventions anthropiques et les aménagements, fluviaux ou autres. Dès la fin du XVIII^{ème} siècle, les enjeux de la navigation sur le fleuve ont conduit à des interventions dont l'importance et les impacts restent encore aujourd'hui difficiles à évaluer. Mais c'est surtout après la signature du traité de Paris le 30 mars 1856, qui instaure la Commission Européenne du Danube (CED) et qui donne un statut juridique au Danube en vue de la régulation de son trafic fluvial, que les impacts s'amplifient. L'édification de digues, le creusement de canaux ou le recoupement de grands méandres vont ainsi modifier la géographie et le fonctionnement hydro-sédimentaire du delta du Danube (CED, 1931). D'autre part, les travaux des géographes roumains, notamment G. Antipa au début du XX^{ème} siècle (Antipa, 1914), ont proposé des aménagements visant à accroître la productivité du delta en limitant les impacts hydrologiques et écologiques, dans une optique préfigurant l'ingénierie écologique contemporaine. Après la Deuxième Guerre mondiale, au cours de la période communiste, sont menés de grands travaux d'assèchement qui ont concerné de vastes surfaces dans le delta. Ils se sont accompagnés, dans une première phase, d'une

redensification du peuplement – le delta ayant été vidé de sa population à la fin du XIXème siècle (Bacanaru, 1964).

Au cours des dernières décennies le maintien et la restauration des zones humides et de la biodiversité qui en dépend sont devenus des préoccupations environnementales majeures à l'échelle européenne (DCE, 2000). Des projets de renaturalisation ont eu lieu aussi dans le delta du Danube, mais ces actions restent relativement marginales par rapport aux surfaces qui ont été transformées sur ce territoire.

Cadre de recherche

Cette thèse s'inscrit dans et a été soutenue par plusieurs programmes de recherches : SEEG (Sites d'Etude en Ecologie Globale) Delta du Danube de l'INEE-CNRS (Institut Ecologie et Environnement) ; Mission Archéologique Delta du Danube du MEAE (Ministère de l'Europe et des Affaires Étrangères) et Programme ArchéoMed (Les interactions Sociétés-Environnements en Méditerranée du Néolithique à nos jours) de l'INSU-CNRS (Institut des Sciences de l'Univers).

Ce travail a bénéficié aussi du soutien de nombreux partenaires roumains : Institut de Recherche Eco-Museal Gavriila Simion (ICEM), Musée National d'Histoire de Roumanie (MNIR), Institut de Recherche Delta du Danube (INCDD), Université de Iasi (UAIC) ainsi que les autorités gestionnaires du delta : Conseil Départemental de Tulcea (CJT) et Reserve Biosphère Delta du Danube (ARBDD).

Problématique, objectifs de recherche et démarche méthodologique

Les travaux sur l'histoire récente des relations entre sociétés et environnement dans le delta du Danube ont adopté deux approches. La première, issue des démarches naturalistes, a cherché dans la documentation historique des éléments sur l'histoire « naturelle » du delta. Elle s'inscrit dans le cadre d'une démarche régressive et replace les dynamiques historiques dans le temps long de l'évolution postglaciaire du delta. C'est principalement le cas des travaux menés par Stefanescu (1981). Ce type de travaux met l'accent sur les données les plus anciennes et néglige les périodes les plus récentes, postérieures au XVIIIème siècle, jugées peu intéressantes dans cette perspective.

D'autre part, les travaux sur la dynamique actuelle des milieux, en particulier les travaux sur la dynamique fluviale, intègrent une dimension historique, mais cette fois sur une durée plus courte (les 150 dernières années). C'est notamment le cas de Tiron (2010) qui tente, par l'utilisation des cartes anciennes de reconstituer la dynamique du bras Saint-Georges ou de Giosan et al. (2008) sur le lobe de Chilia.

La problématique générale développée est d'une part de reconstituer l'évolution géohistorique environnementale de cet espace, et d'autre part de mettre en lumière le rôle des

interventions humaines anciennes ou récentes dans le fonctionnement du milieu, son altération et son éventuelle dégradation, dans l'optique de sa prise en compte dans la gestion de ce milieu.

Comme plusieurs auteurs l'ont déjà montré (Bravard, 2002 ; Salvador et al., 2009 ; Arnaud-Fassetta, 2011), les études paléo-environnementales nécessitent une approche multi-données. La méthodologie mise en place dans le cadre de cette thèse contribue à une géohistoire environnementale du delta par la double mobilisation d'archives iconographiques et textuelles et d'archives sédimentaires.

Les objectifs de ce travail sont de reconstituer l'évolution des paysages du delta du Danube sur le temps long à l'aide des carottages, et d'identifier, localiser et évaluer l'impact des forçages anthropiques sur les paysages actuels dans le delta du Danube par l'analyse des cartes et la recherche des sources documentaires inédites pour la période récente. Ce deuxième objectif en sous-tend un troisième, nécessaire pour mener à bien l'analyse des transformations du delta pour la période récente, qui consiste à créer une base de données cartographique sur le delta du Danube.

Organisation de la thèse

La thèse est structurée en quatre parties, chacune comprenant plusieurs chapitres.

La première partie, qui porte sur le contexte scientifique et l'objet d'étude, comprend quatre chapitres. Le chapitre 1 présente le cadre physique général des deltas, en distinguant les différents types, leur localisation et construction, ainsi que les facteurs de contrôle. Le chapitre 2 présente le cadre physique du delta du Danube, en partant de l'échelle du bassin-versant et jusqu'à l'organisation interne et le fonctionnement du delta. Le chapitre 3 présente le contexte historique et socio-politique très spécifique de cette région. Et enfin le chapitre 4 présente un état de l'art des travaux menés jusqu'ici dans le delta.

La deuxième partie s'intéresse aux sources, méthodes et outils utilisés pour la réalisation de ce travail et comprend deux chapitres. L'un porte sur l'exploitation des archives sédimentaires avec le choix des méthodes, outils et protocoles mis en place (chapitre 5), l'autre aborde la présentation des documents d'archives, des cartes et des informations textuelles avec leurs sources et leurs méthodes d'analyse (chapitre 6).

La troisième partie présente le volet de l'étude centré sur les données sédimentaires, collectées à l'occasion de missions de carottage, et est organisé en trois chapitres correspondant aux trois secteurs d'étude retenus : région de Pardina (chapitre 7), région de Fortuna-Sontea (chapitre 8) et région du village de Mila 23 (chapitre 9).

La quatrième partie détaille le volet de l'étude centré sur les données d'archives, avec cinq chapitres. Le chapitre 10 présente les cartes et les informations disponibles de l'Antiquité jusqu'à l'Epoque Moderne. Les chapitres 11 et 12 couvrent l'Epoque Contemporaine de 1771 à 1856 d'une part, et de 1856 à 1940 d'autre part (la création de la CED en 1856 constituant

un moment charnière de l'histoire du delta). Le chapitre 13, couvrant la période postérieure à 1940, présente l'aménagement intensif du delta durant la période communiste à partir des sources iconographiques. Enfin, le chapitre 14 expose la période communiste ainsi que la situation actuelle et la gestion du delta d'après la chute du régime communiste en 1990 à partir des sources archivistiques.

La conclusion générale propose une synthèse des principaux résultats, met en discussion les limites de l'approche méthodologique, et propose des perspectives de recherche et d'application.

Première partie :

Contexte scientifique et objet d'étude

Introduction première partie

A l'heure actuelle, la manière dont les problématiques environnementales liées à la dynamique fluviale sont définies, étudiées et traitées dépend fortement d'une approche systémique de l'environnement (Chorley, 1962). Deux concepts majeurs complémentaires sont utilisés en hydrologie et en géomorphologie afin de caractériser le cours d'eau et ses espaces fonctionnels : le système fluvial, qui formalise les interrelations entre le bassin versant et son cours d'eau (Schumm, 1977) et l'hydrosystème fluvial, qui représente les flux de matière et d'énergie entre le cours d'eau et sa plaine alluviale (Amoros et Petts, 1993).

Le concept de système fluvial repose sur une approche de la dimension longitudinale du bassin versant, en suivant une organisation amont-aval du système au sein duquel transitent des flux de matières : eau et sédiments. Suivant cette logique, le bassin versant peut se découper en trois zones au sein desquelles ont lieu différents processus : la zone de production, qui regroupe l'ensemble des versants et des têtes de bassin dont la fonction dominante est la production du débit et des sédiments ; la zone de transfert, qui est un secteur fluvial dont la fonction est l'acheminement des sédiments vers l'aval ; et la zone de stockage, située à l'aval et qui correspond au secteur fluvial et de plaine alluviale où les sédiments transportés depuis l'amont s'accumulent et forment parfois des deltas.

Le concept d'hydrosystème fluvial qui constitue un sous-système du système fluvial, repose sur une approche de la bidirectionnalité des flux au travers d'une vision à quatre dimensions de la mosaïque fluviale. La dimension longitudinale appréhendée dans le concept de système fluvial, correspond au transfert de flux le long du gradient amont-aval. Les dimensions transversale et verticale correspondent aux échanges bidirectionnels de flux entre la rivière, sa nappe d'accompagnement et la plaine alluviale. La quatrième dimension se réfère à l'aspect temporel qui structure la variabilité hydrologique et les échanges entre les différents compartiments qui s'opèrent dans le temps. L'hydrosystème met en évidence une hiérarchisation spatiale et fonctionnelle des différentes unités emboîtées.

Les concepts de système fluvial et d'hydrosystème se distinguent par leur organisation spatiale propre, tout en présentant une complémentarité d'échelle. En effet, si le système fluvial se distingue par son caractère géomorphologique centré sur les échanges sédimentaires au sein du bassin versant, l'hydrosystème quant à lui s'attache davantage au fonctionnement écologique du système tout en tenant compte des processus hydrologiques et géomorphologiques (Liébault, 2003). Le système fluvial et l'hydrosystème reposent donc sur une vision hiérarchisée, organisée par un découpage du cours d'eau en compartiments (physiques et biotiques) emboîtés qui interagissent à différentes échelles spatio-temporelles (Frissel et al., 1986). Dans les deux cas, il s'agit d'une approche conceptuelle, dont l'inscription dans l'espace géographique montre la plus grande complexité.

A ces deux concepts emboîtés dans l'espace on peut ajouter un troisième, le socio-système. D'un point de vue social et économique, un fleuve peut être assimilé à une ressource, un potentiel ou un aléa. Chacun de ces éléments se caractérise par sa quantité, qualité, rareté ou fragilité. C'est sur ces notions que les sociétés humaines interviennent par leurs usages en exerçant une pression sur le milieu naturel (Valette, 2002).

En agissant sur le milieu fluvial, la société crée une contrainte, à la fois, sur la ressource, le potentiel et l'aléa. La population riveraine peut agir sur le fleuve de façon directe par différentes actions pour limiter l'aléa, comme des actions de défense (construction de digues, recalibrages...), pour préserver la ressource avec des actions de conservation (Réserves Naturelles...) et pour exploiter le potentiel avec des actions de consommation (industrie, agriculture, tourisme...). Certaines actions indirectes ont aussi un impact sur le fleuve. Par exemple, l'agriculture agit directement et indirectement sur le fleuve. D'un côté les pompes agricoles génèrent un impact direct en limitant la ressource ; de l'autre, l'usage des fertilisants et des engrais dans le bassin-versant correspond à un impact indirect avec le développement de la pollution du fleuve.

Les activités humaines et les usages des fleuves n'ont pas cessé d'évoluer au cours de l'histoire. Ils sont multiples et variés : pêche, cueillette, mais aussi agriculture intensive ou industrie.

Si le système socio-économique crée une pression sur le milieu naturel, l'inverse est vrai aussi, puisque le milieu naturel, par son fonctionnement, peut influencer et même dans certains cas dégrader le socio-système. Les crues et les inondations, les étiages, les érosions de berges sont des contraintes naturelles que la société prend en compte ou non. Ainsi, le fleuve répond aux différents usages de la société (pollution...), de la même manière que la société répond aux pressions du fleuve par l'intermédiaire d'aménagements hydrauliques, de digues..., ce qui ne fait qu'accentuer la pression de la société sur le fleuve.

Comme tous les grands fleuves du monde, le Danube peut être considéré comme une entité hybride, un objet environnemental co-construit par des dynamiques sociales et des dynamiques naturelles en interactions constantes. Le fleuve (ses flux, ses formes...) est sans cesse remodelé et approprié par les sociétés humaines des territoires qu'il traverse, ces dernières étant elles-mêmes en permanente adaptation à la présence du fleuve et aux variations de ses dynamiques (Mitroi-Tisseyre, 2016).

Dans cette première partie, composée de quatre chapitres, nous allons présenter dans un premier temps le cadre physique en évoquant d'abord les deltas en général (chapitre 1) pour arriver au bassin versant et au delta du Danube (chapitre 2). Dans un troisième temps (chapitre 3), nous évoquerons la composante sociale du delta du Danube en présentant le contexte historique et socio-politique. Enfin, le chapitre 4 sera l'occasion d'un état de l'art des recherches environnementales menées sur le delta du Danube.

Chapitre 1

Les deltas dans le monde

Le terme delta est dû à l'historien et géographe grec Hérodote qui, découvrant le delta du Nil, trouva qu'il avait une forme triangulaire qui ressemblait à la quatrième majuscule de son alphabet, la lettre « Δ » (delta) renversé, et décida de lui attribuer ce nom (Lacoste, 2006). Le mot delta a d'abord été utilisé comme nom géographique propre à la région côtière du Nil, et ce n'est qu'au à partir du XVIème siècle qu'il a acquis son sens commun moderne de forme d'accumulation alluviale à l'embouchure d'un cours d'eau (Héquette, 2004). Bien que de nombreux deltas du monde aient une forme deltoïde ou triangulaire il existe aussi des exceptions. Mais aujourd'hui le terme delta est utilisé, sans référence à la forme, pour définir l'accumulation détritique formée par une rivière à son embouchure.

Un delta est une forme d'accumulation sédimentaire construite par un cours d'eau à son embouchure. Les alluvions qui s'y déposent contribuent à construire un édifice deltaïque semi-conique, formant une protubérance plus ou moins marquée dans une étendue d'eau qui peut être un océan ou une mer, un lac, une lagune ou même un autre cours d'eau.

Les deltas actuels sont des formes de relief relativement récentes, dont l'existence est liée à la stabilisation du niveau de la mer, plus précisément à la décélération de l'élévation du niveau de la mer. Des datations en provenance des deltas formés partout dans le monde montrent une construction dans un laps de temps limité, d'environ 8 500-8 000 à 6 000 ans (Stanley & Warne, 1994 ; Renaud et al., 2013). Pourtant le delta, dans son acception scientifique actuelle, est un édifice sédimentaire qui se développe au-delà de la seule plaine deltaïque émergée qui ne constitue que la partie superficielle de corps sédimentaires dont l'accumulation s'effectue à l'échelle des temps géologiques, au gré des variations du niveau marin relatif.

La formation des deltas est déterminée par les conditions géomorphologiques, hydrologiques et climatiques de leurs bassins-versants. La compréhension de la morphologie, de la formation et de l'évolution des deltas ne peut donc se faire qu'en intégrant une approche multiscalaire allant de l'échelle du bassin-versant à celle de son exutoire deltaïque. Des facteurs évoqués ci-dessus dépendent le volume et la nature des matériaux qui construisent les deltas. La charge solide des fleuves se dépose lorsque la pente, en diminuant, implique une vitesse du cours d'eau insuffisante pour permettre d'entraîner la totalité des matériaux transportés jusque-là. À cette configuration continentale particulière s'ajoutent des conditions topo-hydrographiques marines marquées par une énergie faible des vagues, une absence ou une amplitude réduite des marées et l'existence d'une plate-forme continentale relativement bien développée et en pente douce pour permettre la sédimentation (Bourgou & Miossec, 2010).

1.1 Localisation des deltas

Les deltas sont présents dans toutes les zones géographiques du globe, dès lors que les conditions favorisant leur formation et leur évolution sont réunies (Fig.1.1).

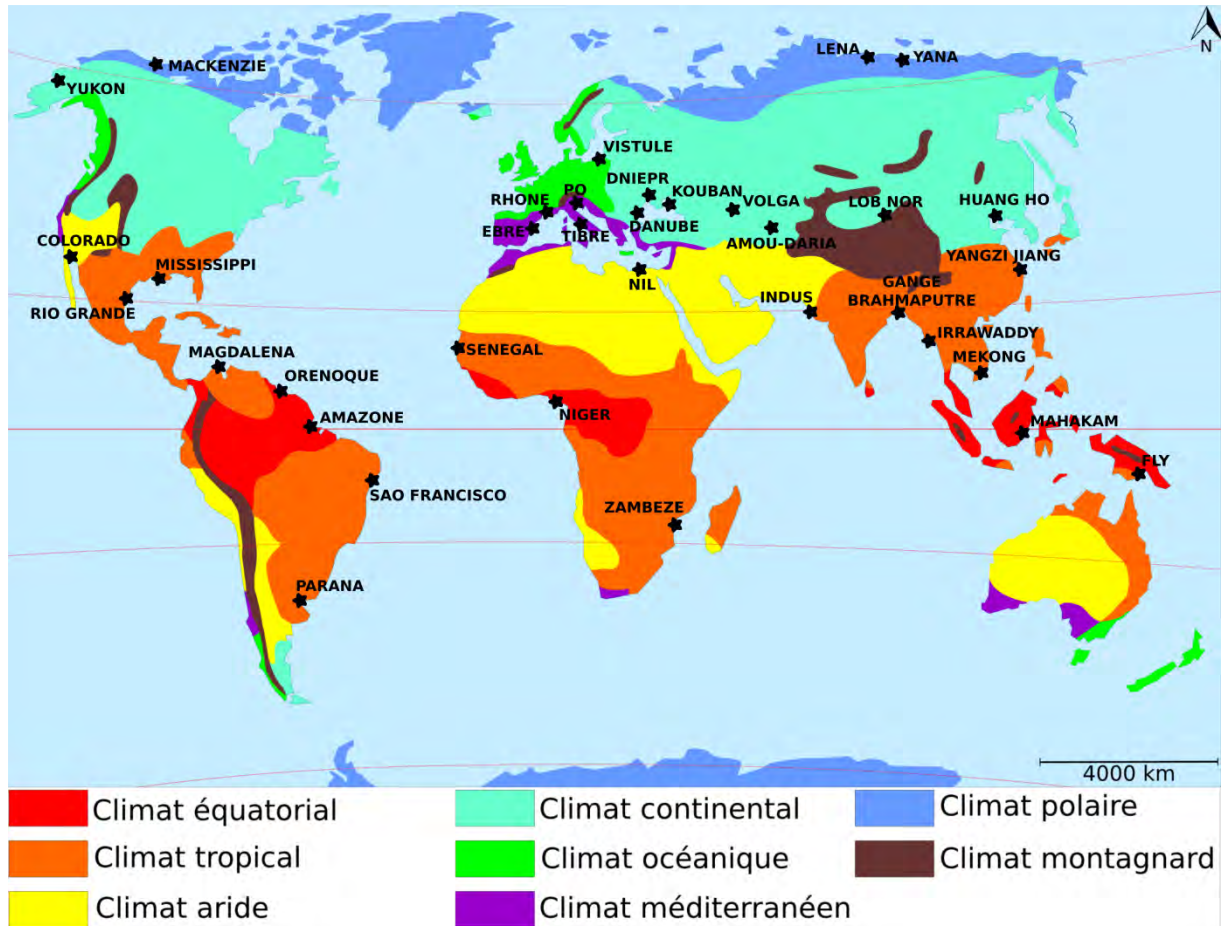


Fig.1.1 Localisation des principaux deltas dans le monde

Source fond de carte: www.cyberhistoiregeo.fr

Aussi existe-t-il des deltas dans la zone arctique, tels ceux de la Yana et de la Lena en Sibérie, ou du Mackenzie en Amérique du Nord, dans les régions tempérées, comme ceux du Danube en Roumanie/Ukraine, du Dniepr et du Kuban en Ukraine, de la Volga en Russie, ou méditerranéennes : Nil en Egypte, Pô et Tibre en Italie, Rhône en France, Ebre en Espagne, et jusqu'aux régions équatoriales : l'Amazone en Brésil, l'Orénoque en Vénézuéla et le Niger en Afrique. On les trouve aussi bien dans des zones sèches, dans des lacs temporaires ou lacs aux importantes variations de niveau (Lob Nor en Chine, Aral en Asie Centrale), que dans les zones humides, affectées par les cyclones et moussons, comme le delta de Mississippi aux États-Unis, de l'Indus au Pakistan, du Zambèze au Mozambique et du Mékong au Vietnam.

On trouve des deltas formés dans des océans dominés par les marées ayant une amplitude importante, comme ceux du Gange-Brahmapoutre en Inde, de l'Indus au Pakistan, du Yangzi Jiang et du Yangzi Jiang en Chine, du Fly en Papouasie-Nouvelle-Guinée, de l'Irrawaddy en Birmanie (Myanmar), ou du Colorado au Mexique. D'autres deltas sont

toujours sous l'influence des marées, mais moins que les deltas classés dans la première catégorie, comme l'Amazone au Brésil, le Mahakam en Indonésie ou le Mékong au Vietnam. Certains deltas se forment dans des mers ou des lacs qui sont très peu, voire ne sont pas, soumis aux marées, comme c'est le cas des deltas méditerranéens (Rhône en France, Ebre en Espagne, Pô et Tibre en Italie, Nil en Egypte), de ceux de la mer Noire (Danube en Roumanie/Ukraine, Dniepr et Kouban en Ukraine), de la mer Caspienne (Volga) ou de la mer d'Aral (Amou-Daria).

Un type particulier de delta est le *fan-delta*, représenté par des cônes alluviaux à grains grossiers, déposés principalement ou entièrement en milieu subaquatique, à l'interface entre un système d'alimentation alluvial et une masse d'eau permanente, marine ou non marine (Nemec & Steel, 1988). On considère que les fan-deltas sont des enregistreurs sensibles du changement climatique et de la tectonique. Le temps de réponse des fan-deltas est court comparé à celui des deltas fluviaux, car leurs bassins versants sont généralement petits et la pente de leur système d'alimentation est relativement raide, ce qui permet des taux élevés de transport des sédiments (Postma, 2003). Quand ce type de delta se forme dans des bassins d'eau profonde on les appelle Gilbert-deltas, du nom du géologue Grove Karl Gilbert qui a étudié le premier ce type de formes dans le Lake Bonneville au Etats-Unis (Gilbert, 1890).

1.2 Typologie des deltas

Un delta est un objet très complexe en 3 dimensions, en partie subaérien et en partie subaquatique, qui évolue dans une 4ème dimension, le temps. Il est composé de nombreux lobes deltaïques, déposés successivement dans le cadre de cycles majeurs d'afflux de sédiments terrigènes. On peut classer les deltas du monde selon plusieurs critères : la taille des deltas et de leurs bassins versants, la forme de leur partie subaérienne, ou le processus dominant dans la formation d'un delta.

1.2.1 Typologie basée sur la taille des deltas et de leurs bassins versants

La taille d'un delta peut varier beaucoup. Il existe des deltas très petits comme celui de l'Ebre (Espagne) qui a une surface de 338 km², ou celui du Sao Francisco (Brésil) avec une surface de 757 km². Il y a des deltas petits, de 1 700 km² pour le delta du Rhône (France), moyens, de 4 150 km² pour le delta du Danube (Roumanie/Ukraine), de grands deltas, 33 000 km² pour le delta du Mississippi (Etats-Unis), 36 000 km² pour le delta du Huang Ho (Chine), ou 43 000 km² pour la Lena (Russie), et de très grands deltas, 93 000 km² pour le delta du Mékong (Vietnam), 106 000 km² pour l'Amazone (Brésil), ou 110 000 km² pour le complexe Gange-Brahmapoutre-Meghna (Inde/Bangladesh) (Gastescu & Stiuca, 2008; Ericson et al., 2006; Romanescu, 1996 ; Verger, 1991).

La taille d'un delta est sans doute liée aussi à la taille de son bassin versant. Pour les deux plus grands deltas du monde, Gange-Brahmapoutre-Meghna et Amazone, les bassins versants sont de l'ordre de millions de km² (Tableau 1.1). Par contre ce n'est pas le plus grand bassin versant qui produit le plus grand delta. Si la taille de ces deux grands deltas est comparable (106 000 km² pour l'Amazone, contre 110 000 km² pour Gange-Brahmapoutre) le bassin versant de l'Amazone est environ 4 fois plus grand que celui de Gange-Brahmapoutre (6 720 000 km² pour l'Amazone, contre 1 730 000 km² pour Gange-Brahmapoutre). La présence du système orographique himalayen qui alimente les rivières Gange, Brahmapoutre et Meghna a un rôle important dans cette disparité entre le rapport surface bassin versant/surface delta, mais aussi l'influence de la mousson. D'ailleurs, un autre grand delta, le delta du Mékong, est aussi localisé dans cette région de la mousson.

Nous avons calculé le rapport entre la taille du bassin versant et la taille du delta (SBV/S Δ) pour une trentaine de deltas du monde (Tableau 1.1), de toutes les tailles et situés dans toutes les zones climatiques (Fig.1.1). La moyenne se trouve autour de la valeur de 166, qui veut dire que à 1 km² de delta correspond 166 km² de bassin versant. Le meilleur rapport caractérise le delta du Mékong, avec seulement 8,6 km² de bassin versant pour 1 km² de delta. D'autres deltas avec un très bon rapport SBV/S Δ , de 13 à 16, sont les deltas de l'Irrawaddy et du Mahakam situés en Asie en régions affectées par les moussons. La situation du delta du Kouban est surprenante, toujours avec un très bon rapport SBV/S Δ de 13,5. C'est un delta de taille moyenne, couvrant 4 300 km² pour un bassin versant de seulement 57 900 km². Situé dans une région avec un climat continental il prend sa source près du mont Elbrouz (5 642 m d'altitude,) le plus haut sommet de l'Europe, situé dans le nord du Caucase en Russie. Il se jette dans la mer d'Azov, mer communiquant avec la mer Noire, dans une région avec des marées négligeables.

Au pôle opposé on trouve les deltas du Sao Francisco (Brésil) et du Dniepr (Ukraine), deux deltas de petite taille, voire très petite taille (757 km² pour Sao Francisco et 354 km² pour Dniepr) qui ont un rapport SBV/S Δ respectivement de 812,4 et de 1 437,8. Le fleuve Dniepr, qui a le rapport le plus grand, est localisé dans la zone climatique continentale et a construit son delta dans la mer Noire. Ayant un bassin versant d'une taille considérable (509 000 km²), sa longueur de plus de 2 000 km, et surtout le fait qu'il prenne sa source à seulement 220 m d'altitude, donc avec une très faible pente d'écoulement, ne lui permet pas de transporter beaucoup des sédiments pour former un delta plus grand.

Une dizaine de deltas, parmi les deltas compris dans notre analyse, forme une catégorie avec un rapport SBV/S Δ situé entre 35 et 100. Ce sont des deltas petits à très grands, situés dans différentes zones climatiques : équatoriale (deltas de l'Orénoque au Venezuela et de l'Amazone au Brésil), tropicale (deltas du Mississippi et du Rio Grande aux Etats-Unis, du Yangzi Jiang en Chine), continentale (Volga en Russie et Huang Ho en Chine), méditerranéenne (Pô en Italie et Rhône en France), mais aussi polaire (deltas de la Yana et de la Lena en Russie).

| Nom (Pays) | Continent | Longueur du fleuve (km) | Surface bassin versant (km ²) | Surface du delta (km ²) | SBV/SA |
|---|------------|-------------------------|---|-------------------------------------|---------|
| Amazon (Brésil) | Amérique S | 6 992 | 6 720 000 | 106 000 | 63,4 |
| Colorado (Mexique) | Amérique N | 2 334 | 807 000 | 6 340 | 127,3 |
| Danube (Roumanie/Ukraine) | Europe | 2 860 | 817 000 | 4 150 | 196,9 |
| Dniepr (Ukraine) | Europe | 2 145 | 509 000 | 354 | 1 437,8 |
| Ebre (Espagne) | Europe | 928 | 82 800 | 338 | 244,9 |
| Fly (Papouasie-Nouvelle-Guinée) | Asie | 1 050 | 76 000 | 6 230 | 12,2 |
| Gange-Brahmapoutre-Meghna (Inde/Bangladesh) | Asie | 2 600 + 2 850 +264 | 1 730 000 | 110 000 | 15,7 |
| Huang Ho (Chine) | Asie | 6 300 | 1 800 000 | 34 100 | 52,8 |
| Indus (Pakistan) | Asie | 3 180 | 980 000 | 8 000 | 122,5 |
| Irrawaddy (Myanmar) | Asie | 2 210 | 421 000 | 30 400 | 13,8 |
| Kouban (Ukraine) | Europe | 870 | 57 900 | 4 300 | 13,4 |
| Lena (Russie) | Asie | 4 472 | 2 420 000 | 43 000 | 56,3 |
| Mackenzie (Canada) | Amérique N | 1 738 | 1 800 000 | 13 600 | 132,3 |
| Magdalena (Colombie) | Amérique S | 1 550 | 240 000 | 1 600 | 150 |
| Mahakam (Indonésie) | Océanie | 980 | 71 100 | 4 810 | 14,8 |
| Mékong (Vietnam) | Asie | 4 350 | 807 000 | 93 000 | 8,6 |
| Mississippi (Etats-Unis) | Amérique N | 5 970 | 3 220 000 | 33 000 | 97,6 |
| Niger (Nigeria) | Afrique | 4 200 | 2 250 000 | 17 700 | 127,1 |
| Nil (Egypte) | Afrique | 6 671 | 2 870 000 | 22 000 | 130,4 |
| Orénoque (Venezuela) | Amérique S | 2 500 | 1 070 000 | 25 600 | 41,8 |
| Paraná (Argentine) | Amérique S | 3 718 | 2 660 000 | 12 900 | 206,2 |
| Pô (Italie) | Europe | 652 | 74 970 | 1 300 | 57,7 |
| Rhône (France) | Europe | 812 | 98 000 | 1 700 | 57,6 |
| Rio Grande (Etats-Unis) | Amérique N | 3 051 | 805 000 | 13 900 | 57,9 |
| Sao Francisco (Brésil) | Amérique S | 2 914 | 615 000 | 757 | 812,4 |
| Sénégal (Sénégal/Mauritanie) | Afrique | 1 190 | 847 000 | 3 240 | 261,4 |
| Vistule (Pologne) | Europe | 1 068 | 198 000 | 1 500 | 132 |
| Volga (Russie) | Europe | 3 530 | 1 360 000 | 18 000 | 75,5 |
| Yana (Russie) | Europe | 872 | 238 000 | 6 600 | 36 |
| Yangzi Jiang (Chine) | Asie | 2 400 | 649 000 | 9 080 | 71,5 |
| Yukon (Etats-Unis) | Amérique N | 3 190 | 852 000 | 5 020 | 169,7 |
| Zambèze (Mozambique) | Afrique | 2 600 | 1 330 000 | 8 000 | 166,2 |

Tableau 1.1 : Données morphométriques sur les deltas

Une autre catégorie assez bien représentée comprend les deltas ayant un rapport SBV/SA compris entre 122 et 170. On retrouve ici des deltas d'une taille allant de petite à grande, situés sous climat aride, comme le Nil (Egypte) et le Colorado (Mexique), équatorial (Niger au Nigeria) et tropical (Zambèze au Mozambique), mais aussi dans les régions plus froides, comme en Alaska (Yukon aux Etats-Unis) et sous climat polaire (Mackenzie au Canada).

Une dernière catégorie inclut les deltas avec un rapport SBV/SA situé entre 195 et 262. Quatre deltas, parmi ceux que nous avons analysés, forment cette catégorie. Le delta du Danube (Roumanie/Ukraine), situé sous un climat continental, le delta du Paraná (Argentine) et le delta du Sénégal (Sénégal/Mauritanie) sous un climat tropical, et le delta de l'Ebre (Espagne) sous climat méditerranéen.

1.2.2 Typologies basées sur la morphologie de l'appareil subaérien

Le point où un cours d'eau se divise pour la première fois pour former son delta est appelé l'apex. A partir de l'apex les sédiments transportés peuvent se déposer de façons différentes dans la masse d'eau qui abrite un delta. A en juger par la morphologie de l'appareil subaérien (Galloway, 1975), les deltas peuvent être repartis en plusieurs catégories (Fig1.2) :

Pour les deltas digités ou en « patte d'oiseau », la dynamique est liée à des actions fluviales dominantes. Le cas du lobe Balize dans le delta du Mississippi (États-Unis) (Fig.1.2 a) est très démonstratif.



a. Delta digité (Patte d'oiseau) - Mississippi



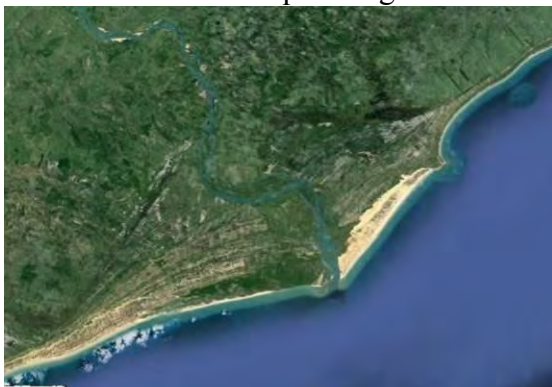
b. Delta lobé - Rhône



c. Delta arqué - Niger



d. Delta sagitté - Ebre



e. Delta triangulaire – Sao Francisco



f. Delta estuarien (à îles) – Fly

Fig.1.2 Types des deltas selon la morphologie de l'appareil subaérien

Source images: GoogleEarth

Les deltas lobés sont caractérisés par des saillants arrondis sous l'effet de l'efficacité de la houle aux dépens des accumulations terrigènes. Le Rhône (France) (Fig.1.2 b) et le Danube (Roumanie/Ukraine) appartiennent à cette catégorie.

Les deltas arqués ou arrondis sont marqués par une importante action des courants côtiers qui aboutit à la régularisation du trait de côte en érodant littéralement les saillants et en déposant des sédiments dans les creux. Le delta ne dessine alors aucune protubérance. C'est le cas des deltas du Niger (Niger) (Fig.1.2 c) et du Rio Grande (Etats-Unis, Mexique).

Dans les **deltas triangulaires** l'érosion marine de part et d'autre de l'embouchure du cours d'eau l'emporte nettement sur les accumulations fluviales. Celles-ci ne sont prédominantes qu'à l'embouchure, où le cours d'eau s'avance en mer le long d'un bras principal. Les deltas du Tibre (Italie) et du Sao Francisco (Brésil) (Fig.1.2 e) sont de bons exemples de deltas triangulaires.

Les deltas sagittés ont un distributaire principal dans une position centrale qui forme une pointe beaucoup plus avancée dans la mer, avec deux ailes symétriques sur les côtés, comme le delta de l'Ebre (Espagne) (Fig.1.2 d).

Dans les **deltas estuariens** ou « à îles » les sédiments sont remaniés en barres d'embouchure parallèles aux courants de flot et de jusant qui forment dans le cas des grands deltas de véritables îles alluviales de plusieurs kilomètres de longueur. Parmi les exemples les plus caractéristiques des deltas de type marée dominante, on peut citer ceux du Gange-Brahmapoutre ou du fleuve Fly (Nouvelle-Guinée) (Fig.1.2 f).

1.2.3 Typologies basées sur le processus dominant

Classiquement, les trois processus principaux qui influencent la création d'un delta sont : la vitesse d'écoulement de la rivière, l'action des vagues et l'action des marées (Fig.1.3).

La classification tripartite des deltas couramment utilisée (Galloway, 1975) (Fig.1.3) est basée sur l'idée que le rapport des processus fluviaux, des vagues et des marées a pour conséquence une morphologie différente et identifiable des dépôts obtenus, ainsi que des successions des facies caractéristiques.

Les deltas à dominance fluviale sont lobés, dans des masses d'eau peu profondes, ou allongés, nommés aussi en "patte d'oiseau" dans des eaux plus profondes (Fisher et al. 1969 dans Olariu & Bhattacharya, 2006). Ce type de delta se forme surtout dans un contexte microtidal, avec des marées de faible amplitude, et une faible énergie de la houle. Les agents fluviaux, responsables des apports en sédiments, prennent alors le dessus sur les agents de dispersion dans le bassin récepteur. Dans les deltas à dominance fluviale les distributaires sont nombreux et sont bordés par des levées de berge qui les isolent des zones interdistributaires plus basses et marécageuses. A l'embouchure des distributaires se déposent des barres sableuses qui progradent sur les sédiments fins du prodelta. L'exemple le plus caractéristique de delta en « patte d'oiseau » dominé par les actions fluviales se retrouve dans

le delta du Mississippi. D'autres deltas à dominance fluviatile, de formes lobées, sont les deltas de la Volga ou de la Lena.

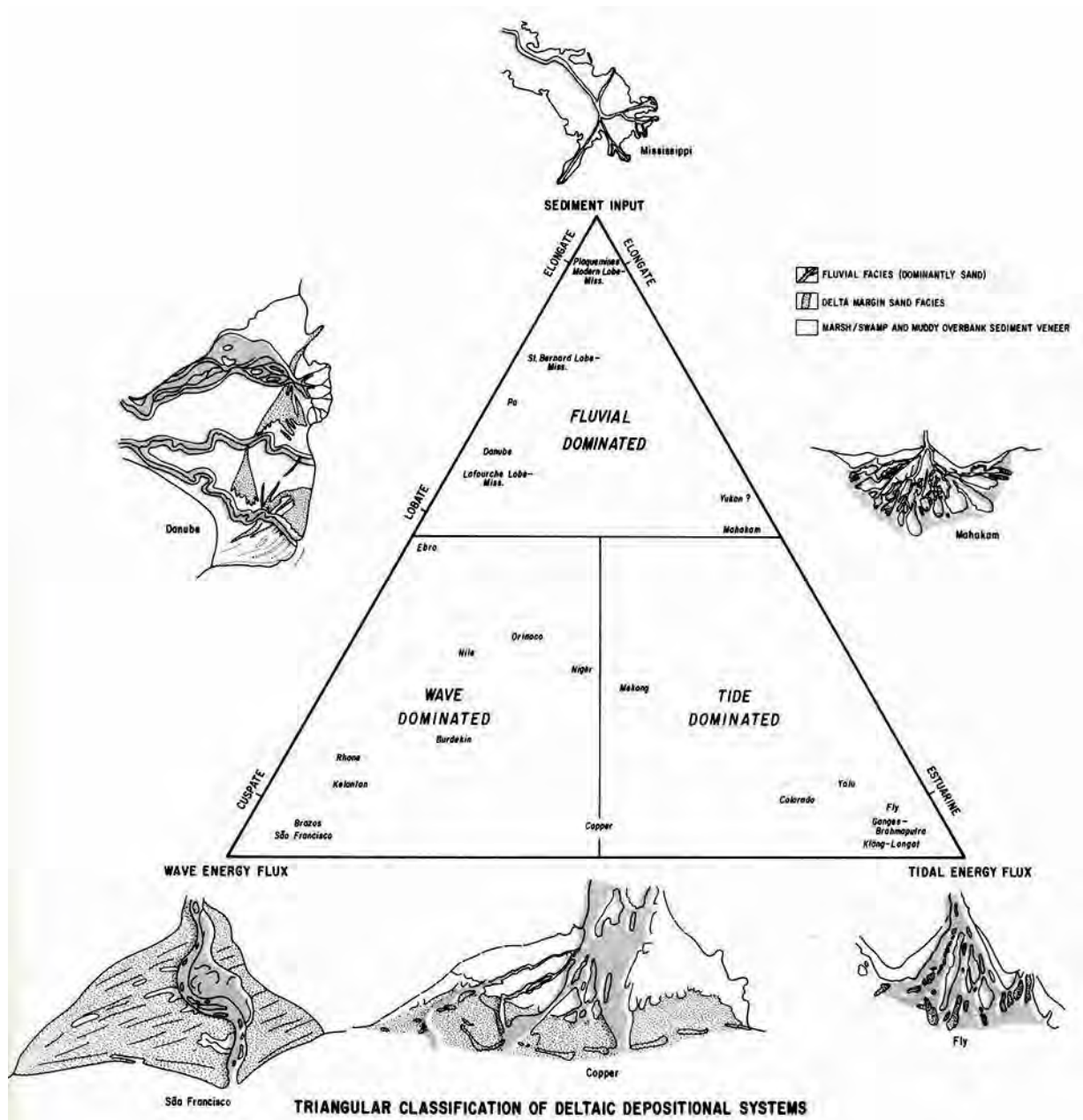


Fig.1.3 La classification tripartite des deltas
Source : Galloway, 1975

Deltas à dominance de l'action des vagues : l'action des vagues se fait sentir sur le front du delta ; les sables sont remaniés et forment des cordons littoraux et des plages ; les particules fines sont dispersées vers le large. Les distributaires des deltas dominés par les vagues sont peu nombreux. L'influence des vagues sur les deltas varie considérablement en fonction de la morphologie et de la bathymétrie côtière. Les vagues ont un rôle très important dans le transport et la distribution des sédiments des deltas vers les côtes adjacentes. Les vagues et les courants littoraux (dérives littorales) générés par les vagues redistribuent les

sédiments le long des côtes ou au large des côtes (Anthony, 2015). Le rapport entre le flux de sédiments fluviaux et le maximum de transport le long de la côte suite aux actions des vagues, prédit la morphologie d'un delta. Un changement dans le temps d'un de ces deux facteurs qui modifie ce rapport peut faire passer un delta d'une dominance fluviale à une dominance des vagues (Nienhuis et al, 2015). Exemples des deltas dominés par les vagues : les deltas du Rhône, du Sénégal, du Sao Francisco, de l'Ebre, ou du lobe Sf. Gheorghe du delta du Danube.

Les deltas à dominance de l'action de la marée sont caractérisés par des chenaux méandriformes et évasés à leur embouchure. Le sable s'accumule en barres de méandre et en barres tidales à l'embouchure. Les deltas dominés par les marées ont tendance à être de grands systèmes pouvant s'étendre sur des centaines de kilomètres le long de la marge continentale. Les régimes de transport des sédiments associés sont généralement de haute énergie, mais ils varient considérablement en fonction des cycles de marée et du débit saisonnier des rivières (Goodbread & Saito, 2012). Ce type de delta est caractérisé par des importants transferts amont-aval, qui sont influencés, voir inversés pendant les flux des marées montantes. Exemples pour les deltas dominés par les marées : Colorado, Fly, Gange-Brahmapoutre, Indus, Irrawaddy, Chiang Jiang, mais l'influence des marées se fait ressentir aussi dans d'autres delta comme ceux de l'Amazone, du Mahakam ou du Mékong.

Une autre forme de relief littoral se trouve à l'embouchure d'un fleuve sur une mer ou un océan, où se font sentir les marées et l'estuaire. Les deltas sont des avancées de la terre sur la mer et c'est une des caractéristiques principales qui délimite les deltas des estuaires. Dans une situation d'équilibre, quand les sédiments transportés par le fleuve n'arrivent pas à se déposer pour former un delta et sont dispersés principalement par la marée, mais aussi par les vagues, un estuaire se forme. Les sédiments des deltas sont principalement fluviaux, tandis que les sédiments des estuaires ont une source mixte, fluviale et marine. Fondamentalement, les deltas sont des systèmes régressifs/progressifs tandis que les estuaires sont des systèmes de déposition côtiers transgressifs (Boyd et al. 1992).

La classification tripartite simple en des deltas dominés par les rivières, les vagues ou les marées doit être utilisée avec prudence car le nombre de paramètres qui contrôlent les deltas est plus important (Bhattacharya, 2006). De plus, certains deltas peuvent montrer simultanément des influences de l'un ou l'autre type, comme c'est le cas du Danube. Un delta est un système très complexe, qui n'est pas statique, et qui implique aussi une dimension temporelle. Pour comprendre et évaluer un tel système il faut tenir compte de l'interaction entre flux d'eaux et de sédiments, et les processus de dépôt et d'érosion influencés par les magnitudes relatives des marées, des vagues et des courants, tout cela pouvant varier dans le temps. Cette interaction complexe de différents processus et conditions donne lieu à une grande variété de modèles différents en fonction des situations locales (Seybold et al. 2007).

La taille des sédiments composant un delta ajoute une nouvelle variable. Les sédiments déposés par les deltas du Mississippi (Etats-Unis) et du Gange (Inde) sont principalement fins et très fins, du limon et des argiles. Mais d'autres, comme le delta du Rhône (France), sont beaucoup plus sableux. Certains deltas peuvent même être constitués

d'une forte proportion de gravier, comme par exemple ceux de Skeidararsandur (Islande) ou de Yallahs (Jamaïque).

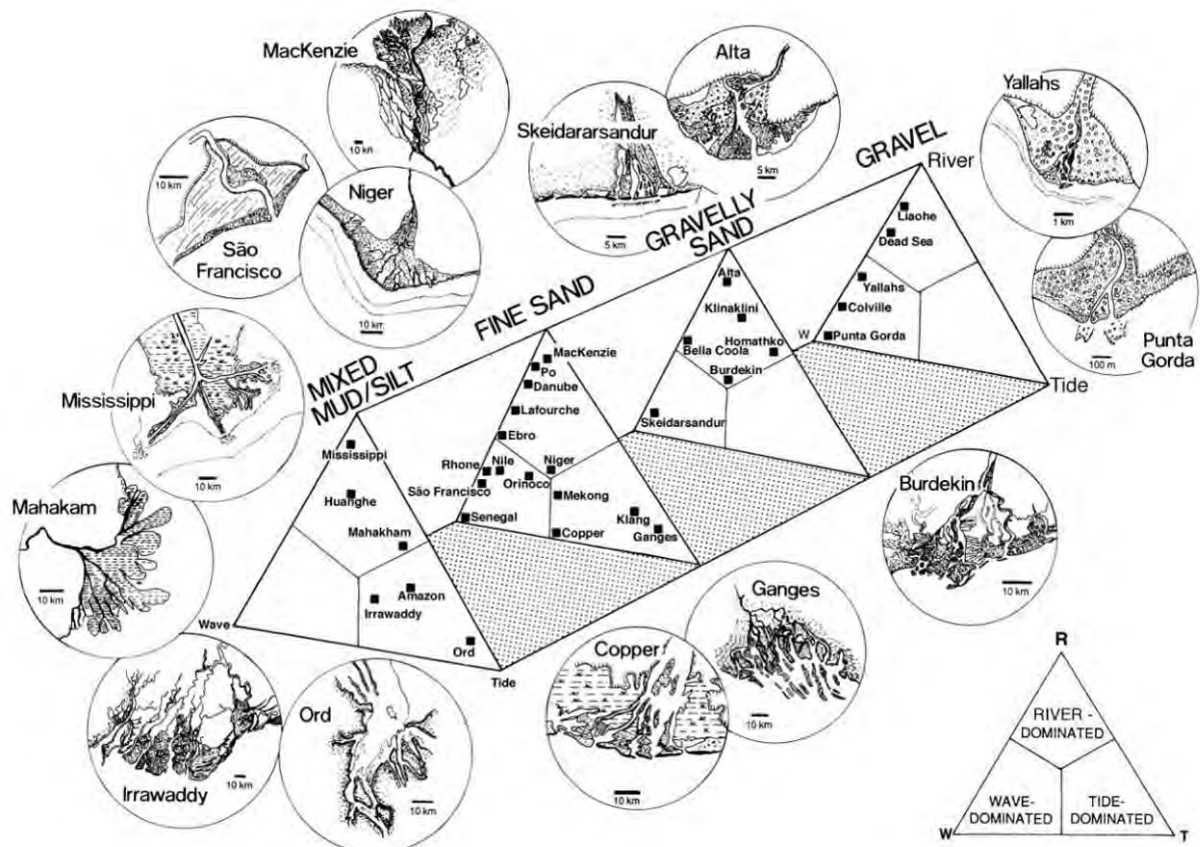


Fig.1.4 La classification des deltas en fonction de la taille de sédiments

Source : Orton & Reading, 1993

Orton (1988) et Orton et Reading (1993) ont proposé d'ajouter à la classification tripartite de Galloway une quatrième dimension (Fig.1.4) pour tenir compte de la taille dominante des sédiments déposés au front du delta. Le raisonnement qui sous-tend cette modification est que l'impact sur un front de delta n'est pas indépendant de la taille des grains des matériaux dont ils sont formés. Par exemple, le même régime de vague aura un impact différent sur un delta de sable à grain fin ou sur un delta avec du gravier grossier. Ainsi, il est plus raisonnable que seuls les deltas avec des tailles de grain similaires soient comparés (Nemec, 1990).

La morphologie d'un delta est liée à la taille des grains sédimentaires qui le compose. Dans des conditions similaires, les deltas à grains fins sont dominés par la croissance des levées et des chenaux, ce qui permet de créer des rives lisses et des formes allongées. Les deltas à grains intermédiaires sont dominés par des bifurcations de canaux autour des barres d'embouchure des rivières, ce qui donne des deltas lobés aux rivages irréguliers. Les deltas à grains grossiers sont dominés par l'abandon des canaux anciens, ce qui donne des formes de delta lobés comportant de nombreux canaux et des rivages relativement lisses (Caldwell, 2013).

Le succès de la classification proposée par Galleway (1975) et sa diffusion a probablement occulté la dimension multi-causale (Bhattacharya and Walker, 1992 ; Dominguez, 1996), malgré le fait que la plupart des deltas sont susceptibles d'être créés par des influences multiples. La dispersion des sédiments à travers plusieurs distributaires donne une forme globale lobée du delta dominé par le fleuve qui ne ressemble pas au type digité ou en "patte d'oiseau", comme c'est le cas du lobe Balize du delta du Mississippi, mais similaire aux deltas décrits comme dominés par les vagues (Olariu & Bhattacharya, 2006). Beaucoup de deltas d'aujourd'hui présentent un mélange d'influences entre les différents lobes deltaïques. Ce fait peut créer des problèmes d'interprétation, en particulier dans les études des enregistrements sédimentaires, car les faciès sédimentaires retrouvés peuvent ne pas être représentatifs de l'ensemble du système (Bhattacharya, 2006). Mieux encore, l'utilisation dans la classification des deltas des appellations comme « dominé » ou « influencé » reste encore assez imprécise, car il est presque impossible de généraliser et d'attribuer les processus actuels à la formation des parties plus anciennes d'un delta.

Dans une étude sur les deltas Baram et Trusan de Bornéo, Lambiase et ses collaborateurs (Lambiase et al., 2003) ont montré que, malgré une géométrie externe suggérant la domination des vagues, les faciès internes montrent une forte signature des marées. Le delta actuel de Brazos a été longtemps cité comme un exemple classique d'un delta dominé par les vagues, mais des études récentes basées sur des carottages montrent une prédominance des dépôts de crues des rivières et ont conduit les chercheurs (Rodriguez et al., 2000) à reclasser le Brazos comme un delta influencé par les rivières et dominé par les inondations. Un travail similaire sur le delta de Burdekin en Australie montre que, malgré son apparence extérieure qui l'a historiquement fait classer comme un delta dominé par les vagues, les faciès retrouvés dans les carottes sédimentaires montrent une prédominance des dépôts caractéristiques d'un delta à dominance fluviale (Fielding et al., 2005a, 2005b).

1.3 La morphologie et la stratigraphie des deltas

1.3.1 La Morphologie d'un delta

Un delta se décompose en 3 parties (Fig1.5) : la plaine deltaïque, le front de delta et le prodelta.

Le front du delta, la partie la plus dynamique du delta, est le prolongement de la plaine deltaïque sous la mer, situé immédiatement à l'avant des embouchures des distributaires. Ici la vitesse d'écoulement diminue brutalement lorsque l'eau pénètre dans l'eau stagnante du lac ou de la mer.

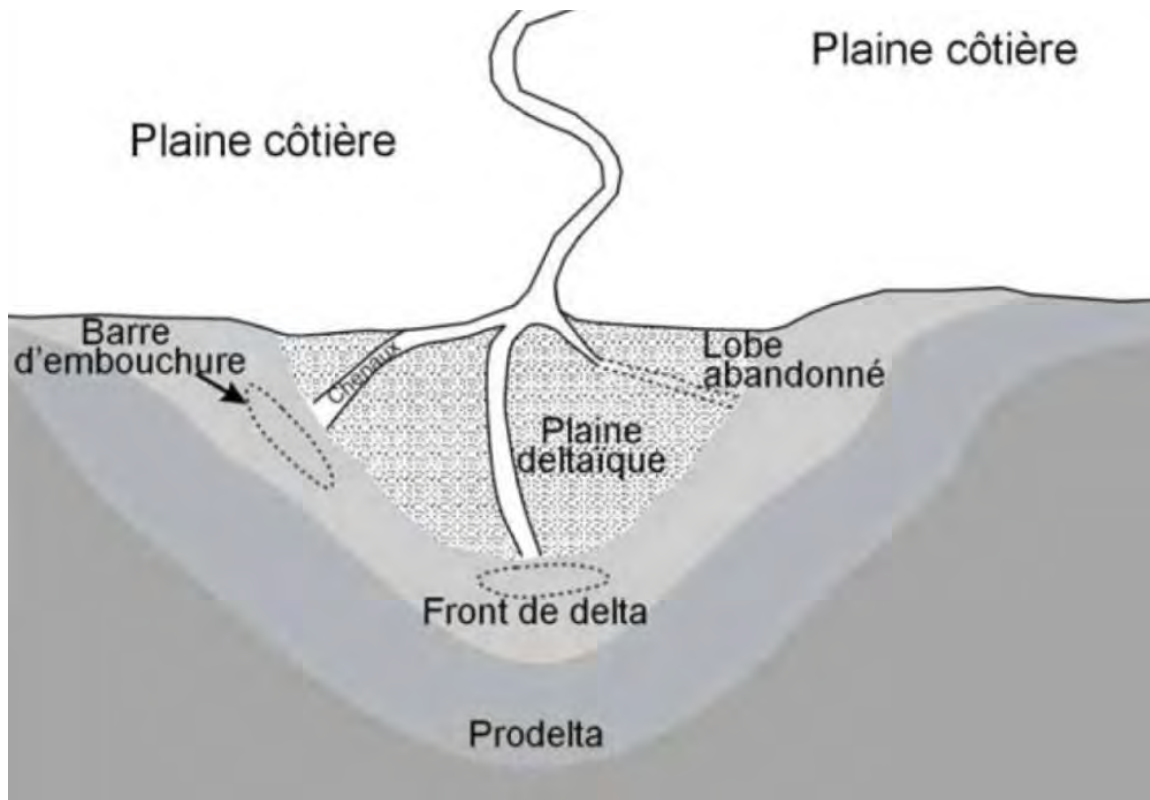


Fig.1.5 Les parties composant un delta

Source : Suter, 1994

Le front de delta est le site de dépôt des sédiments transportés qui, dans le cas des deltas à dominance fluviale, forment une barre sous-aquatique qui s'agrandit, et forcent le flux autour d'elle, provoquant la bifurcation et l'extension du distributaire (Ritter et al., 1995).

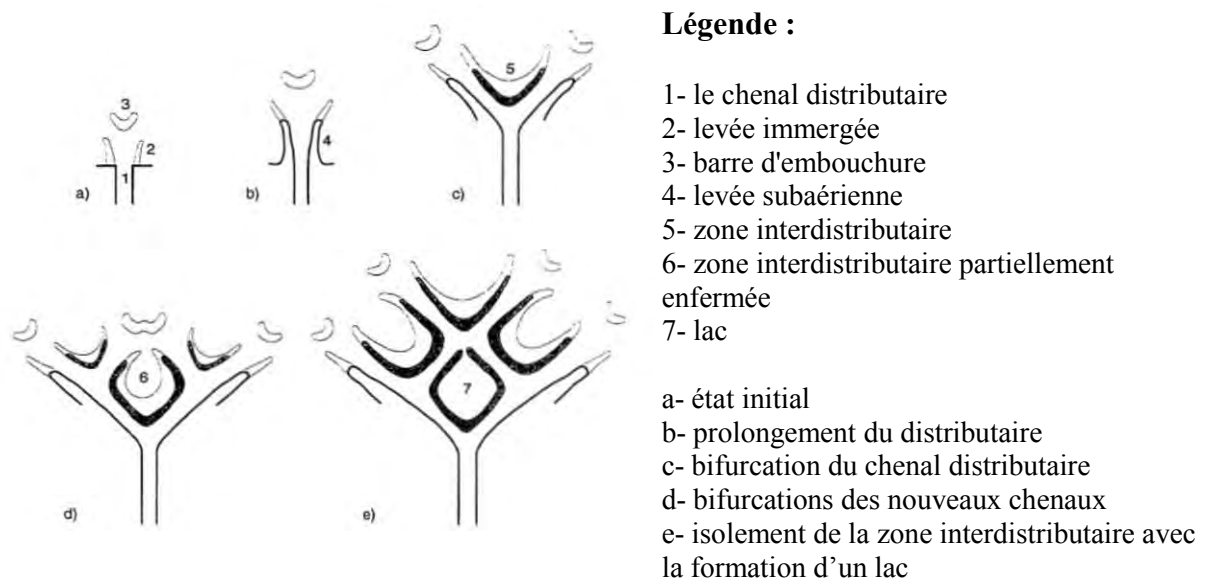


Fig.1.6 La progradation d'un delta

Source : Boyes (1999) adapté d'après Lewis (1988)

Sur les marges d'écoulement, l'accumulation de sédiments provoque la formation de levées immergées. Le dépôt continu de sédiments à l'embouchure, au fil du temps, fait que les levées immergées deviennent des levées subaériennes (Fig.1.6). Le prolongement des levées permet une croissance continue des berges et des dépôts dans les bassins interdistributaires qui se forment.

Le modèle de la croissance d'un delta présenté dans la figure 1.6 est un modèle théorique car, souvent, la division des eaux et sédiments transportés par le distributaire-source ne se fait pas de façon égale entre les deux distributaires nouvellement formés. De plus, les proportions d'eau et de sédiments portés par chaque nouveau distributaire peuvent changer dans le temps suite à des causes variées, naturelles ou anthropiques, le distributaire transportant des quantités relativement faibles d'eau et de sédiments augmentant ses charges aux dépens du distributaire plus grand (Nelson et al, 2011).

Dans les grands systèmes deltaïques, comme c'est le cas des deltas de la Volga ou de la Lena, parfois les distributaires peuvent se rejoindre, formant ainsi un motif de delta similaire à celui des rivières en tresse (Morisawa, 1985).

La plaine deltaïque est le prolongement vers l'aval de la plaine alluviale. Ces zones sont des étendues de basse altitude, parcourues d'habitude par un réseau de chenaux ramifiés, actifs ou abandonnés, qui sont nommés chenaux distributaires. Entre les distributaires s'étendent des zones marécageuses ou lacustres, avec des eaux peu profondes et des zones émergentes ou presque émergentes, garnies de végétation sous climat humide. Ces zones marécageuses de la plaine deltaïque portent le nom des zones interdistributaires (Fig.1.6). A proximité des distributaires actifs, les zones interdistributaires jouent aussi le rôle des plaines d'inondation pendant les périodes de crues.

Les distributaires d'un delta peuvent présenter des formes très variables, car une rivière peut être méandreuse ou tressée, avec des distributaires simples ou divisés. La ramification d'un distributaire dans plusieurs cours est très souvent rencontrée, afin de créer un schéma de répartition des distributaires à travers la partie émergée d'un delta. À chaque bifurcation, les flux d'eaux et de sédiments sont répartis entre des distributaires nouvellement formés. Suite à cette division successive, les distributaires deviennent en aval plus petits en largeur et en profondeur (Yalin, 1992).

Des ruptures (Fig.1.7) dans les levées du distributaire peuvent se former au cours d'une période de crue et le matériel sédimentaire transporté par le distributaire est déposé dans un bassin interdistributaire (Van Straaten, 1960).

Le changement de cours d'un distributaire et l'abandon du cours initial (Fig.1.7) se produit quand un distributaire devient trop étendu au fur et à mesure qu'il s'allonge dans un bassin (Reading, 1978). Au cours des périodes de crues, une levée de berge est rompue et, si cette brèche est suffisamment importante, un cours plus court et plus abrupt peut se développer, ce qui provoque l'abandon du distributaire originel et le transfert de l'eau et des sédiments vers le distributaire nouvellement formé (Roberts & Coleman, 1996).

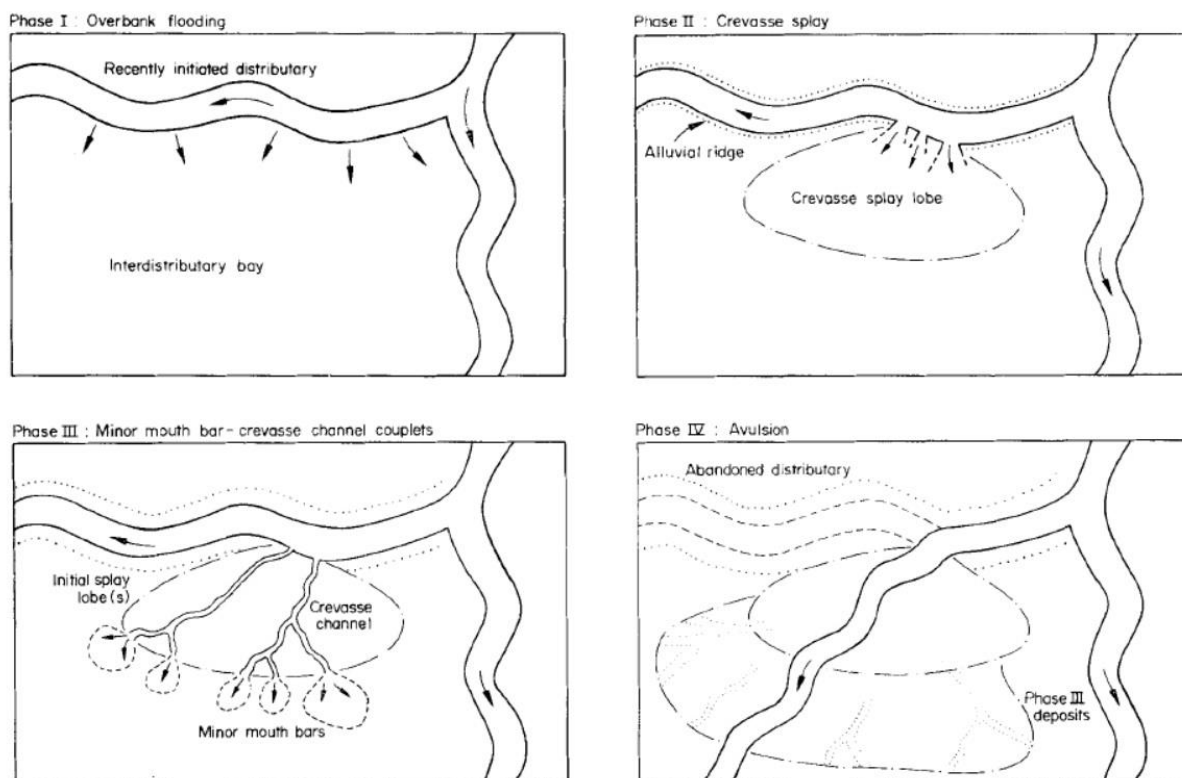


Fig.1.7 Le changement de cours d'un distributaire

Source : Elliott, 1974

Les plaines deltaïques comprennent essentiellement deux parties : une partie située à l'amont, la plus ancienne, qui est soumise exclusivement à l'action du fleuve ; une partie située à l'aval, qui s'étend jusqu'au front de delta et qui est épisodiquement soumise aux influences marines, notamment dans les mers à marées. Dans le cas des deltas à dominance de l'action des vagues la plaine deltaïque a une morphologie différente (Fig. 1.8).

Un indice asymétrique (A) a été calculé par Bhattacharya et Giosan (2003) qui est le rapport entre le débit liquide du fleuve et la compétence de la dérive littorale (Fig.1.8). Quand ce rapport est inférieur à 200 les plaines deltaïques formées sont symétriques, comme c'est le cas des deltas de l'Ebre (Espagne), de la Godavari (Inde), du Tibre (Italie) ou du lobe Rosetta du delta du Nil (Egypte). Quand le rapport est supérieur à 200, des deltas asymétriques se forment : deltas du New Brazos (Etats Unis), du Guadiana (Espagne/Portugal), ou les lobes Damiette du delta du Nil (Egypte) et Sf. Gheorghe du delta du Danube (Roumanie). Quand le rapport est supérieur à 200, avec des facteurs ajoutés comme la décharge sédimentaire du fleuve ou la fréquence des inondations, des deltas complètement déviés sont créés. C'est le cas des deltas du Sénégal (Sénégal) et du Mahanadi (Inde).

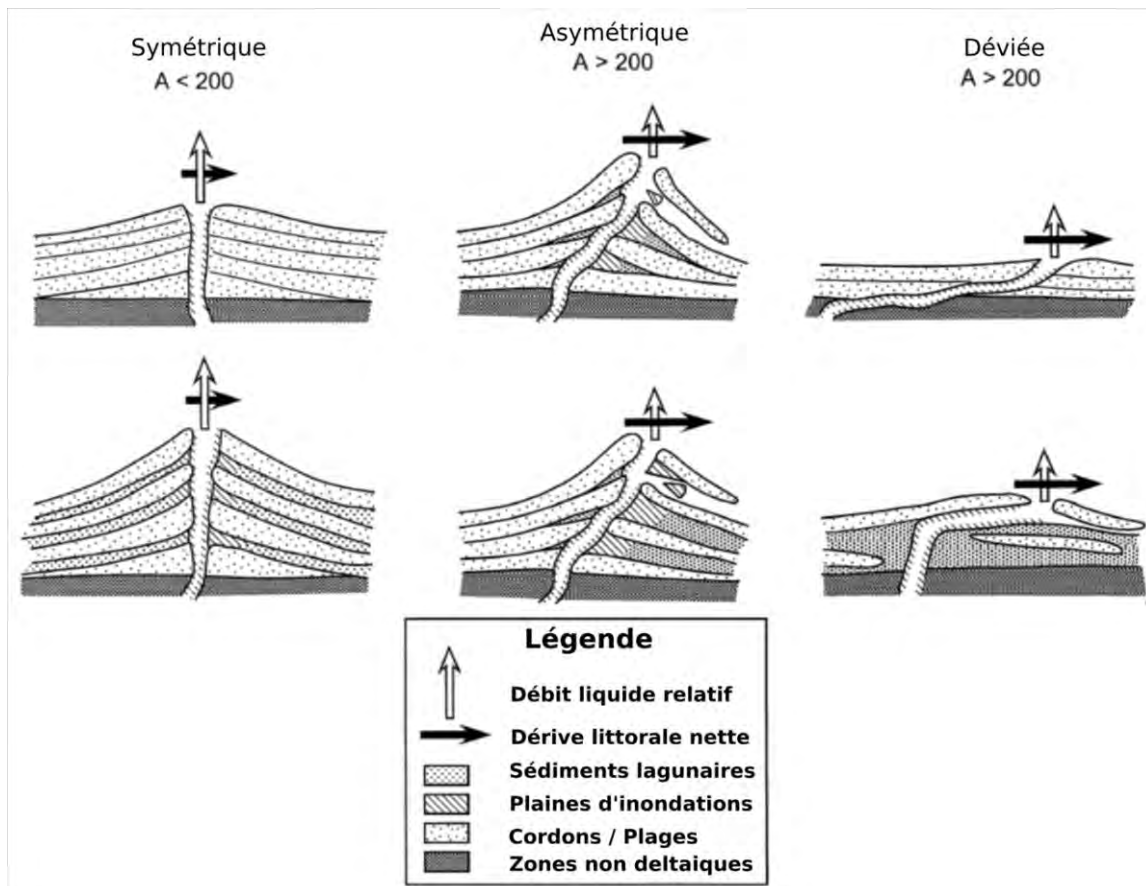


Fig.1.8 Organisation de la redistribution sédimentaire dans une embouchure dominée par les vagues

Source : Bhattacharya & Giosan, 2003

Le prodelta est une partie essentiellement sous-marine, la plus externe et la plus profonde du delta. Situé immédiatement à l'aval des barres d'embouchures et échappant à l'action des vagues ou des marées, il repose sur les sédiments marins de la plate-forme littorale. Les sédiments déposés ici par le fleuve sont beaucoup plus fins que ceux des barres d'embouchures. Les prodeltas font place progressivement, vers le large, aux dépôts marins du plateau continental, de nature essentiellement argileuse.

1.3.2 La stratigraphie d'un delta

Une caractéristique clé de nombreux deltas est l'association intime des environnements de dépôt marins et continentaux. Dans les dépôts deltaïques, cette association se manifeste dans l'arrangement vertical des faciès. Un seul cycle deltaïque peut afficher une transition verticale continue depuis des conditions entièrement marines à la base jusqu'à des conditions subaériennes dans la partie supérieure (Fig.1.8 B). Cette transition est généralement dans une succession de granulométrie croissante, avec des dépôts à grain fin du prodelta à la base, accumulés dans des conditions de faible énergie, aux conditions énergétiques plus élevées de la bouche du delta, dans la partie supérieure, où des sédiments plus grossiers s'accumulent (Nichols, 2009).

Les sédiments de la plaine deltaïque ont une orientation généralement horizontale, les sédiments du front du delta sont déposés sous un angle généralement compris entre 10° et 25°, et les sédiments dans le prodelta sont légèrement inclinés (Fig.1.9 A) (Bhattacharya, 2006 de Elliott, 1986 d'après Gilbert, 1885 et Barrell, 1912).

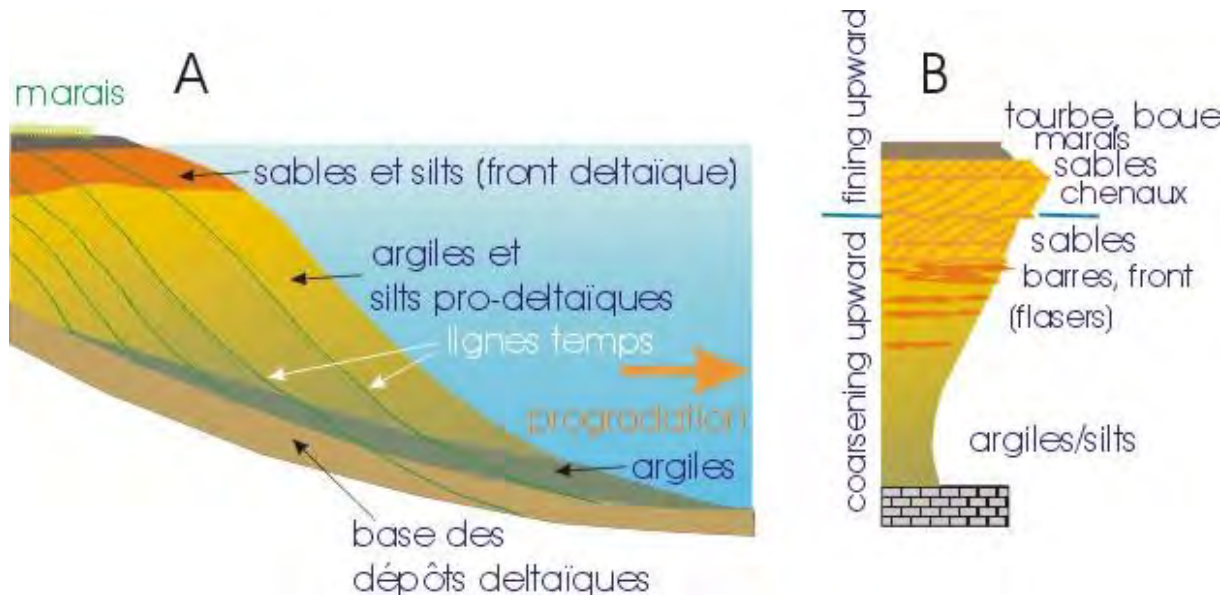


Fig.1.9 A – coupe simplifiée dans un delta ; B – séquence sédimentaire produite par la progradation d'un delta

Source : Boulvain, 2017

Les dépôts deltaïques sont composés de matériaux clastiques terrigènes fournis par les rivières et d'accumulations organiques comme par exemple la tourbe. Les sédiments d'un delta engloberont une forte proportion de matière à grains fins si le système fluvial qui l'alimente est une rivière à méandres. Les rivières à méandres transportent et déposent un mélange de sédiments en suspension et de matériaux de charriage. Les grands fleuves transportent des sédiments sablonneux qui sont livrés au delta mais aussi une grande charge en suspension de limon et d'argile. La proportion de sable dans les dépôts d'un delta augmente si la rivière source fournit plus de sédiments de charriage.

Les macro et micro-restes fauniques (malacofaunes, ostracodes, foraminifères, dynokystes, etc...) et floristiques peuvent s'avérer importants dans la reconnaissance des sous-environnements marins et continentaux d'un delta. Une faune distincte tolérante à l'eau saumâtre peut être trouvée près de l'embouchure des canaux et dans les zones interdistributaires où se mélange l'eau douce et marine. Le mélange de la faune marine peu profonde, saumâtre et d'eau douce, ainsi que la végétation côtière, est également caractéristique des milieux deltaïques.

Les faciès de la plaine deltaïque

La plaine deltaïque contient à la fois des sédiments relativement grossiers du chenal distributaire et des levées adjacentes, ainsi que des matériaux à grains plus fins dans les zones de plaines d'inondations à proximité du chenal et dans les régions interdistributaires. Le

chenal peut être reconnu par sa granulométrie plus importante, avec des barres sableuses et parfois même des galets qui se déposent. Le distributaire montre un modèle de remplissage qui met en évidence le courant fluvial unidirectionnel, dans le sens de l'écoulement, sauf dans le cas d'une forte influence de la marée, entraînant des courants bidirectionnels.

La majeure partie de la plaine deltaïque et de toutes les zones interdistributaires est représentée par des régions d'accumulation de sédiments plus fins, de limons et d'argiles, riches en matière organique sous climat humide et en évaporites sous climat sec et suffisamment chaud. En climat semi-aride se développent des encroûtements calcaires, et sous climat aride peuvent se former des dunes éoliennes à partir des sables fluviatiles. Des dépôts sableux de rupture de levée accidentent la sédimentation fine dans les plaines de deltas à dominance fluviale. La plaine deltaïque peut montrer des signes d'un milieu subaérien, comme la formation de sols.

Les faciès du front du delta

C'est le lieu de rencontre des eaux douces chargées de sédiments et des eaux salées, dans le cas des rivières qui arrivent dans des mers et océans. La forme de sédimentation est différente selon la densité de l'eau du fleuve, en fonction de la charge et de la taille des particules transportées. Si la densité de l'eau douce est voisine de celle de la mer, la charge se dépose rapidement en une barre de front de delta. Pour une densité d'eau douce plus grande, la charge forme un courant de densité qui suit le fond et gagne le large. Pour une densité plus faible, les particules en suspension forment un « nuage » qui se disperse à la surface de l'eau de mer (cas de l'Amazonie).

Dans les deltas à dominance de vagues, les sables sont remobilisés par la mer et étalés en barres parallèles à la côte constituant une plage ou un cordon isolant une lagune (cas du Po). Dans les deltas à dominance de marées, les barres sableuses forment des îles allongées séparant les chenaux tidaux : ces barres s'étendent sur un secteur long de 95 km dans le delta du Gange ; elles montrent des faciès bidirectionnels typiques de l'action tidale.

Les sédiments les plus grossiers sont déposés d'abord dans les eaux peu profondes près de l'embouchure de la rivière où ils peuvent être considérablement retravaillés par l'action des vagues et de la marée. Le courant de la rivière est dissipé vers le large à partir des embouchures et l'énergie des vagues diminue avec la profondeur ; ceci conduit à un modèle de sédiments déposés progressivement, les plus fins étant déposés le plus loin de l'embouchure de la rivière dans la région du prodelta. Dans cette zone la pente du delta est souvent une pente raide. Les sédiments en suspension de la rivière forment dans l'eau relativement calme du lac ou de la mer un panache de sédiments devant le delta.

Les faciès du prodelta

L'accumulation deltaïque progresse sur la plate-forme et présente une forte épaisseur si la marge est subsidente ou lorsque la progradation atteint la bordure de la plate-forme et se poursuit sur le talus. Il s'y dépose des sédiments fins généralement bioturbés car très riches en matière organique d'origine continentale. Le fluage des argiles prodeltaïques écrasées par les

sables sus-jacents et la pente entraînent la formation de diapirs, de slumps et de failles normales listriques, dispositif structural favorable au piégeage des hydrocarbures. Les deltas peuvent être les systèmes d'approvisionnement pour les grands complexes sous-marins.

La succession des faciès retrouvés dans une carotte sédimentaire réalisée dans un delta dépend de l'emplacement dans le cadre du delta (Fig.1.10).

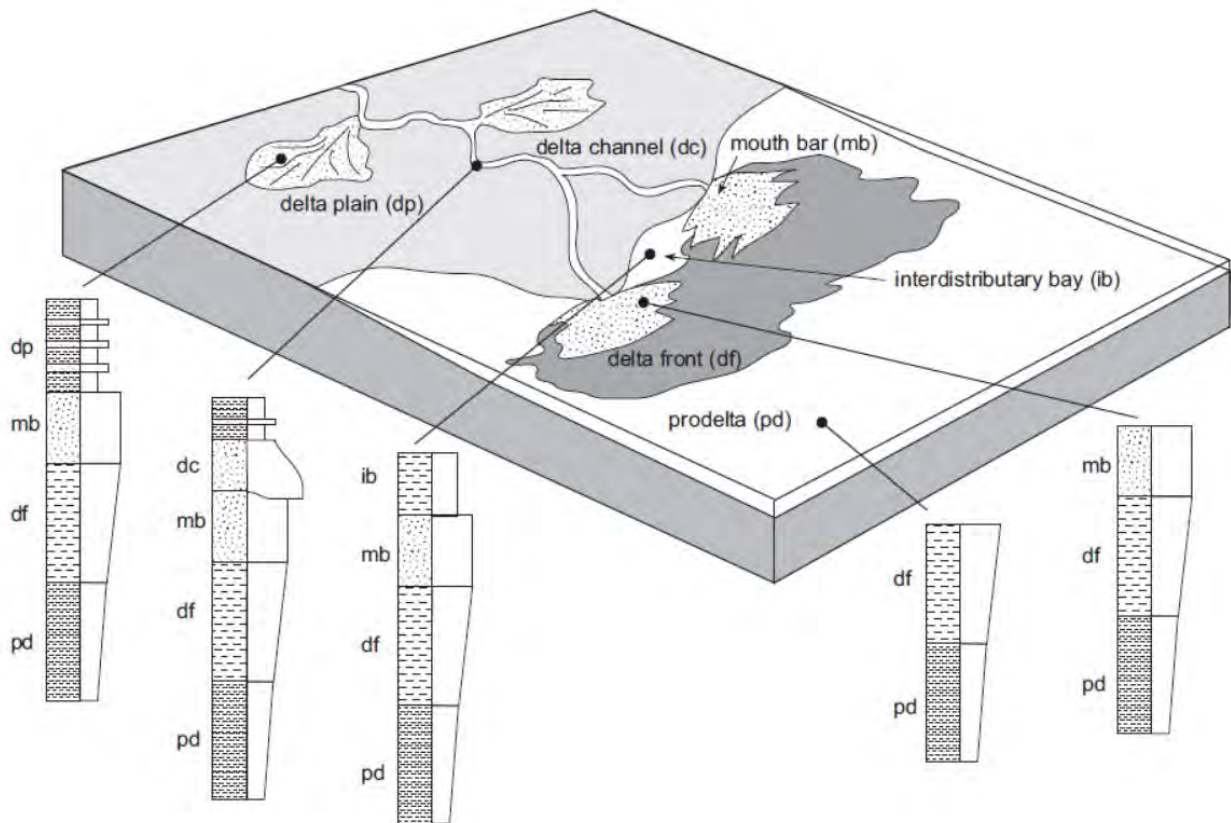


Fig.1.10 Faciès deltaïques

Légende : dp-plaine deltaïque ; dc-chenal distributaire ; mb-barre d'embouchure
df-front deltaïque ; ib-zone interdistributaire ; pd-prodelta

Source : Nichols, 2009

La morphologie et les faciès d'un delta sont contrôlés par l'importance relative de chaque processus, vagues, marées, apports fluviaux, par le contraste de salinité entre l'eau du fleuve et l'eau du bassin récepteur, par la quantité et la granulométrie des sédiments transportés par le fleuve et la profondeur de l'eau dans laquelle coule le fleuve. La géométrie du bassin récepteur et la proximité du talus continental peuvent également avoir une influence.

Il est maintenant reconnu que les vagues, les rivières et les marées interagissent en permanence, ce qui produit des dépôts qui peuvent représenter des faciès commandés par ces trois différents processus (Bhattacharya & Giosan, 2003). La définition et la compréhension d'un système de dépôt dépend en grande partie de l'échelle d'observation et des objectifs de l'étude. La répartition des sédiments à la surface dans de nombreux deltas modernes peut ne

pas caractériser la géométrie du corps de sable dans les dépôts immédiatement sous-jacents. Dans de nombreux deltas actuels, le remaniement transgressif des vagues et des marées dans la partie supérieure des sédiments, c'est-à-dire la phase destructive, peut ne pas refléter les processus sédimentaires dans la majeure partie des sédiments deltaïques plus anciens, c'est-à-dire lors de la phase de construction (Bhattacharya, 2006).

Un système deltaïque est un ensemble de composants interdépendants de manière dynamique dans lequel les modifications apportées à une partie ont des répercussions dans tout le reste du système. Les composants du système, comme la configuration du bassin versant, la subsidence, l'érosion, le transport et l'accumulation de sédiments et les changements dans la sédimentation sous-marine aux embouchures, sont reliés par des connexions intimes qui ont un effet de rétroaction (Harbaugh & Bonham-Carter, 1977).

1.4 Les facteurs de contrôle

Les facteurs de contrôle qui conditionnent l'existence, l'état de conservation et l'évolution des deltas peuvent être partagés en deux grandes catégories : facteurs naturels et facteurs anthropiques.

1.3.1 Les facteurs de contrôle naturels

Sur des échelles de temps plus longues, l'eustatisme, la subsidence et la tectonique ainsi que les apports sédimentaires constituent des paramètres qui contrôlent la morphologie des deltas et la migration des lobes deltaïques (Penland et al., 1989 ; Somoza et al., 1998) ainsi que l'architecture stratigraphique interne des dépôts (Homewood et al., 1999).

L'eustatisme est le phénomène responsable des variations générales du niveau moyen des mers au cours du temps. Initialement a été qualifiée d'eustatique toute montée ou baisse du niveau marin lorsqu'elle a la même amplitude dans toutes les régions du globe.

Les études sur le niveau marin holocène se sont multipliées au cours des années 1950 et jusque dans les années 1960 avec l'avènement des datations radiocarbone. Les variations du niveau marin étaient considérées comme ayant été identiques en tous points du globe, du fait de l'interconnexion des océans (Pirazzoli & Pluet, 1991). Plusieurs auteurs (Fairbridge, 1961 ; Mc Farlan, 1961 ; Jelgersma, 1965 ; Suggate, 1968) tentent alors de reconstruire les variations eustatiques holocènes à l'échelle du globe, en compilant des informations obtenues dans différentes régions du monde. Ces travaux ont abouti à des reconstitutions largement divergentes (Fig.1.11).

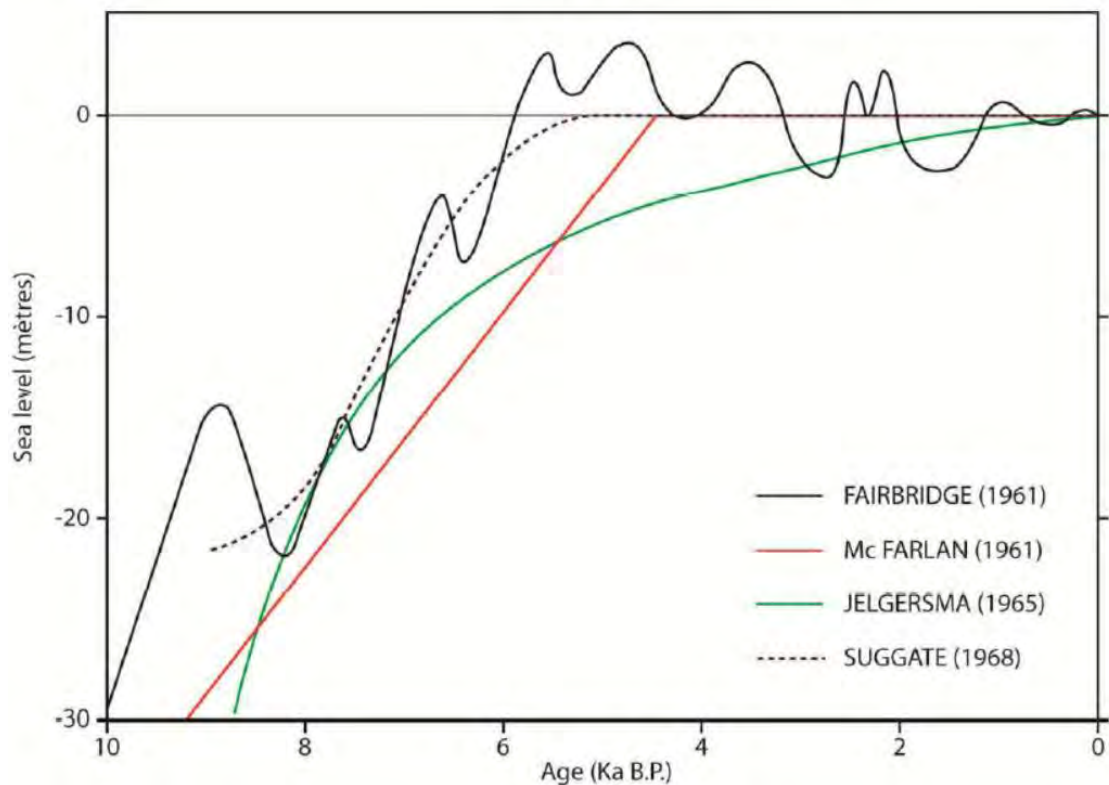


Fig.1.11 Reconstitution des variations eustatiques holocènes dans les travaux des années 1960

Source : Goslin, 2014

A la fin des années 1970, les avancées scientifiques ont permis de modéliser les effets de réajustement de la surface de la Terre du fait de la fonte des masses glaciaires continentales établies dans l'hémisphère Nord. Ces modèles (Farrell & Clark, 1976 ; Clark et al., 1978 ; Peltier et al., 1978) distinguent alors six grandes zones (Fig.1.12) au sein desquelles les changements de niveau marin durant l'Holocène auraient suivi une tendance commune : des régions d'émergence, des régions de submersion et des régions transitoires, ayant connu successivement les deux évolutions.

Il est maintenant admis qu'aucune reconstitution de l'évolution du niveau marin durant l'Holocène n'est valable à l'échelle de la Terre entière. Depuis le début des années 1980, les études se sont donc concentrées sur la reconstitution de l'histoire du niveau marin à une échelle régionale à locale (Tooley, 1982). C'est ainsi qu'est apparu le concept de niveau marin relatif pour lequel les variations du niveau marin sont rapportées à un référentiel ayant pu connaître des mouvements verticaux au cours du temps et non pas à un référentiel absolu lié au centre de la Terre.

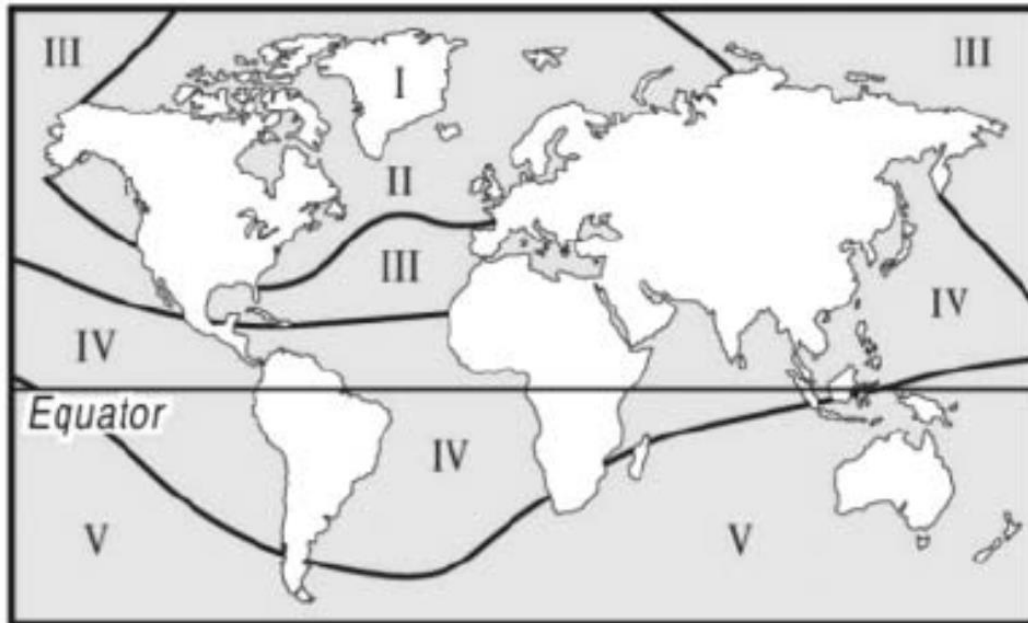


Fig.1.12 Les 6 zones eustatiques globales

Source : Woodroffe & Horton, 2005

Dans le cadre de l'eustatisme on distingue plusieurs types des processus : processus à très long terme, à moyen terme et à court terme.

Les processus eustatiques à très long-terme sont liés aux modifications du volume des bassins océaniques. Sous le terme tectono-eustasie sont regroupés l'ensemble des processus reliés à la dynamique interne de la Terre qui agissent sur le niveau marin en modifiant la géométrie des bassins océaniques (Rona, 1995). La tectonique des plaques a contribué à produire des changements eustatiques notables au cours des temps géologiques. En effet des dynamiques de divergence ou de convergence des plaques (ouverture d'océans, création de nouvelles surfaces de plancher océanique à l'axe des dorsales médio-océaniques, mais aussi dynamiques de subduction et de collision) ont pu accroître ou réduire la surface du domaine océanique, mais ont aussi et surtout modifié la géométrie des bassins océaniques. L'activité volcanique intraplaque et les processus associés à la sédimentation ont aussi provoqué des dynamiques à grandes longueurs d'onde responsables des modifications du niveau marin. Bien que ces processus puissent être à l'origine de variations eustatiques de plusieurs centaines de mètres, ils correspondent à des évolutions géologiques à très long-terme, leurs effets pouvant être considérés comme totalement négligeables à l'échelle de l'Holocène.

Les processus eustatiques à moyen terme sont les modifications de la masse des eaux océaniques, du volume des eaux océaniques, et des mouvements verticaux de la surface terrestre. Ces processus ont joué un rôle majeur dans les variations du niveau marin relatif depuis la fin du Pléistocène.

Les modifications de la masse des eaux océaniques

Durant l'Holocène le principal facteur de modification du niveau marin a été, d'une part l'échange d'eau entre les océans et les glaciers continentaux, phénomène nommé glacio-

eustasie et, d'autre part, l'échange d'eau entre les océans et l'eau stockée en surface ou en profondeur au sein des réservoirs continentaux, phénomène qui porte le nom de hydro-eustasie. Etroitement reliés aux successions des périodes glaciaires et interglaciaires et donc à la variabilité climatique globale, ces processus ont provoqué une alternance de phases de retrait et de restitution d'eau douce dans les océans (Shackleton, 2000 ; Lambeck & Chappell, 2001 ; Waelbroeck et al., 2002 ; Rabineau et al., 2006).

Du fait de leur surface et de leur volume importants, les calottes glaciaires sont les principaux agents de la glacio-eustasie. Des stockages et déstockages d'eau ont aussi concerné des formations telles que les glaciers de montagne et le permafrost des zones périglaciaires. Lors de la dernière période glaciaire, plusieurs inlandsis se sont développés aux hautes latitudes, couvrant une surface ayant pu atteindre jusqu'à 30% de la superficie des continents (Ruddiman, 2009). On considère que le niveau marin était situé à environ 130 +/- 5m sous le niveau actuel à la fin du dernier maximum glaciaire. La transition Pléistocène - début de l'Holocène - se caractérise par la suite par une vitesse générale de remontée eustatique d'environ 10 mm/an, avec deux périodes bien marquée de remontée rapide et continue : entre 16 000 et 12 500 cal. B.P. et entre 11 500 et 8 000 cal. B.P. (Fairbanks, 1989 ; Edwards et al., 1993 ; Bard et al., 1996 ; Lambeck & Chappell, 2001). Entre ces périodes, une phase d'important refroidissement du climat, le « Younger Dryas », est considérée comme ayant occasionné un ralentissement du rythme de remontée, notamment dans l'hémisphère Nord.

Les modifications du volume des eaux océaniques

La thermo-eustasie, ou effet stérique, désigne les processus d'expansion ou contraction des masses d'eau océaniques sous l'effet conjugué des changements de température et, dans une moindre mesure, de salinité. Ces effets sont largement variables selon les régions, car ils sont étroitement dépendants de la distribution de la chaleur au sein des océans. Les modifications stériques provoquent des modifications du volume des eaux océaniques, paramètre a priori indépendant de la masse de celles-ci (Pirazzoli & Pluet, 1991). Les effets stériques sont considérés comme pouvant avoir des effets importants (d'amplitude métrique) sur plusieurs dizaines à centaines d'années. Relativement bien cernés pour l'évolution du niveau marin récent, du dernier millénaire jusqu'aux évolutions actuelles (Cazenave et al., 2008 ; Cazenave & Llovel, 2010 ; Llovel et al., 2011 ; Stammer et al., 2013), ces effets demeurent plus difficiles à évaluer pour les périodes plus anciennes de l'Holocène, du fait de la connaissance encore imparfaite du fonctionnement climatique et des températures océaniques ayant régné aux périodes les plus anciennes.

Les mouvements verticaux de la surface terrestre

La surface terrestre subit des déformations lorsqu'elle est soumise à une surcharge par une masse importante, telle celle d'un glacier ou d'une masse d'eau. Lors de la disparition ou du déplacement de cette masse, la surface de la Terre se réajuste progressivement jusqu'à retrouver un état d'équilibre, processus nommé réajustement isostatique, et peut s'exercer sous plusieurs formes : la glacio-isostasie résulte du rééquilibrage induit par l'ajout ou la suppression de masses d'origine glaciaire, l'hydro-isostasie désigne les effets de charge par une masse d'eau de grande ampleur, tandis que la sédimento-isostasie résulte du dépôt ou de

l'érosion d'une masse importante de sédiments. L'ampleur et la durée des phénomènes isostatiques peuvent se poursuivre longtemps après la fin du processus qui les a provoqués, ainsi on considère que si la fonte des glaciers du nord de l'Europe était achevée avant 10 000 B.P., le réajustement isostatique qui en a été la conséquence est encore en cours de nos jours.

La glacio-isostasie - La fonte des masses glaciaires a occasionné des phénomènes de rééquilibrage de la croûte terrestre non seulement dans les zones soumises directement aux masses glaciaires, mais aussi dans les zones situées en périphérie de celles-ci ainsi que dans les zones plus lointaines. Depuis le début de la fonte et tout au long de l'Holocène, les zones autrefois situées sous les calottes connaissent une surrection du fait de la disparition des surcharges glaciaires. Au contraire, dans les zones autrefois situées en bordure des inlandsis, la tendance a en général été à la subsidence durant l'Holocène. La fonte des glaciers a ainsi été accompagnée par l'apport de matériau mantellique venant compenser la remontée de la croûte, suite à la disparition de la surcharge (Douglas & Peltier, 2002). Ces processus, d'ampleur pluri-métrique sur l'Holocène, sont encore en cours de nos jours, et sont cruciaux pour la détermination de l'évolution future du niveau marin relatif dans les différentes régions du globe.

L'hydro-isostasie - Lors de la remontée eustatique post-glaciaire, l'ajout de masses d'eau a provoqué une charge supplémentaire sur les bassins océaniques, particulièrement marquée au niveau des plates-formes continentales. En réponse, les zones continentales adjacentes ont pu connaître un léger soulèvement du fait de la flexure de la lithosphère et d'un éventuel déplacement de matériel mantellique, induits par la subsidence de la plate-forme continentale sous l'effet de la surcharge (Clark et al., 1978 ; Mitrovica & Peltier, 1991; Mitrovica & Milne, 2002).

La sédimento-isostasie - La charge causée par la masse sédimentaire peut être à l'origine de mouvements de subsidence et de flexure de la croûte terrestre. Ce phénomène est néanmoins surtout localisé dans les secteurs ayant connu une très forte sédimentation durant l'Holocène, tels les deltas des fleuves continentaux, et demeure d'ampleur relativement limitée (estimé par exemple à $1,05 \pm 0,5$ m durant les 7 000 dernières années pour le delta du Mississippi, Yu et al., 2012).

Les processus eustatiques à court terme sont les processus pouvant être responsables de changements du niveau marin sur des échelles de temps très courtes, de quelques heures à quelques jours. Il est nécessaire de tenir compte des effets qu'ils ont pu avoir sur les enregistrements sédimentaires sur la côte car ils peuvent mener à des interprétations sédimentologiques incorrectes, faussant ainsi les reconstitutions du niveau marin relatif (Pirazzoli & Pluet, 1991). On distingue deux types de processus à court terme : les mouvements verticaux rapides et les phénomènes atmosphériques qui apportent des modifications à la surface des océans.

Des mouvements verticaux rapides sont le plus souvent des mouvements de tectonique cassante, notamment dans les zones ayant connu une sismicité active. En règle générale, ces mouvements agissent sur un temps très court, quasi-instantané à quelques jours, et se

matérialisent par des sauts dans les courbes de reconstitution du niveau marin relatif d'ampleurs pluri-décimétriques à pluri-métriques.

A très court terme, les conditions atmosphériques peuvent être responsables de fluctuations du niveau de la mer de plusieurs mètres sous l'effet des variations de pression barométrique, de température, de salinité. Les événements météo-marins exceptionnels, tels que les tempêtes ou les cyclones peuvent, par contre, avoir des effets morpho-sédimentaires importants qu'il convient de considérer : afflux ou retrait pluri-métrique d'eau sur la côte (marées de tempête), impact morphogénique des vagues sur les séquences sédimentaires, remobilisations des stocks sédimentaires d'avant-côte, hausse des précipitations et apports sédimentaires fluviaux accrus.

Les deltas sont des zones d'interfaces terre - mer de faible altitude, fortement impactées par ce phénomène, qui doit être analysé en corrélation avec la subsidence. Les deltas sont essentiellement des systèmes de nature cyclique (Scruton, 1960), et consistent en une « phase constructive », généralement suivie d'une « phase destructive ». Les changements relatifs du niveau de la mer influencent l'étendue de la croissance et de la destruction du delta.

Des estimations faites pour les rives des deltas méditerranéens (Stanley, 1997) donnent en 2100 une élévation relative minimale du niveau de la mer de 40 cm, dans les endroits où le niveau de la mer absolu (eustatique) augmente d'environ 3 mm par an, et où on observe un taux minimum d'affaissement de 1 mm par an. En outre, les calculs montrent qu'à la fin du siècle prochain, l'élévation du niveau de la mer pourrait atteindre 1 mètre sur certaines bandes côtières aujourd'hui soumises à des taux d'affaissement bien plus importants.

La subsidence est un phénomène qui se manifeste comme un affaissement progressif, régulier ou saccadé, de l'écorce terrestre. Elle est causée par une multitude de processus naturels, qui sont souvent intensifiés par les interventions anthropiques. La subsidence peut être liée aux mouvements des plaques tectoniques (faille, étirement de la lithosphère, etc.), au compactage des sédiments, aux changements dans le contrôle de l'érosion sur une rivière, ou à une accumulation d'épaisses séries sédimentaires dans des bassins peu profonds, cas spécifique aux environnements deltaïques. Les causes anthropiques qui favorisent ou amplifient la subsidence sont : les modifications des pratiques agricoles (irrigation, par exemple), la déforestation, l'exploitation minière, l'extraction des eaux souterraines ou d'hydrocarbures et les modifications de la gestion côtière (Brown & Nicholls, 2015). La combinaison de ces facteurs naturels et anthropiques peut entraîner un affaissement ou une élévation du sol, ou plus généralement une combinaison des deux.

La subsidence peut entraîner une augmentation des inondations et le retrait ultérieur du littoral et la perte de terres. Cela peut réduire l'efficacité des défenses et augmenter la salinisation, affectant ainsi l'agriculture, pouvant potentiellement toucher des millions de personnes (Syvitski, 2008 ; Syvitski et al., 2009). L'élévation du niveau de la mer entraîne des effets similaires et ces processus se renforcent mutuellement.

Les deltas, pendant la plupart de l'Holocène, ont enregistré des taux de subsidence beaucoup plus élevés que les plaines côtières adjacentes (Stanley, 1997). Le taux moyen

global de subsidence enregistré dans les zones côtières adjacentes est de 0,23 mm/an, alors que la subsidence enregistrée dans les principaux deltas de la mer Méditerranée (Nil, Rhône, Pô, Ebre) dépasse 1 mm par an.

Les processus tectoniques contrôlent les mouvements dynamiques de la croûte terrestre et façonnent la répartition mondiale des continents, des bassins océaniques et des formes de relief. L'empreinte de la tectonique sur la géomorphologie est visible non seulement dans la taille, l'étendue et l'emplacement des chaînes de montagnes, mais aussi dans la pente des profils des rivières, et sous la forme de réseaux fluviaux. La tectonique ouvre la voie pour, et parfois dirige, le travail d'érosion.

La tectonique influence la géomorphologie à la fois par des contrôles actifs et passifs. Les facteurs de contrôle tectoniques actifs impliquent une réponse du paysage à la déformation continue de la surface terrestre, comme la réponse d'un profil de la rivière à l'élévation d'une certaine région. Les facteurs de contrôle tectoniques passifs, appelés aussi facteurs de contrôle structurel, sont ceux qui influencent les formes de relief et la dynamique du paysage indirectement, à travers la résistance variable à l'érosion des différentes roches.

Les mouvements tectoniques peuvent avoir un effet direct sur les deltas, quand il s'agit des événements produits sur la côte, mais aussi indirect, suite au changement dans le bassin versant. Le forçage tectonique peut réorganiser les réseaux de drainage et modifier les limites du bassin versant.

La tectonique contrôle l'ampleur, la position et le développement des bassins versants et, par conséquent, avec le climat et la géologie locale, contrôle le flux de sédiments alimenté dans tout système fluvial (Leeder, 1993).

Les vagues sont des ondulations formées par le vent soufflant sur une surface d'eau. Elles sont le résultat du transfert d'énergie du vent vers l'eau. La quantité de transfert d'énergie dépend de la vitesse du vent, de la durée du vent et de l'étendue de l'eau sur laquelle le vent souffle. Les vagues peuvent avoir une action destructive ou constructive sur les deltas, elles peuvent éroder la côte ou, au contraire, déposer des sédiments sur le rivage.

Il existe aussi des vagues créés par des événements extrêmes, comme les tempêtes ou les mouvements tectoniques. Un type à part de vagues est le tsunami, provoqué par les mouvements tectoniques dans les bassins des mers et océans, par les éruptions volcaniques, les glissements de terrain ou par l'impact des astéroïdes et comètes. À partir de l'endroit où il est généré, un tsunami se propage dans l'océan à une vitesse pouvant atteindre 700 km/h. Alors que dans les mers et océans ayant une profondeur d'eau importante un tsunami n'est pas perceptible, puisqu'il ne dépasse pas quelques mètres de haut, à l'approche de la terre ferme, un tsunami ralentit jusqu'à environ 100 km/h et sa hauteur augmente d'un facteur d'environ dix. Les tsunamis se produisent régulièrement. La moyenne historique au niveau planétaire est de cinquante-sept tsunamis par décennie (Huggett, 2007). Leurs impacts dévastateurs peuvent amener des changements majeurs du relief deltaïque côtier.

Les marées sont le mouvement des masses d'eau mises en place par les forces d'attraction de la terre et des corps célestes les plus influents (la Lune et le Soleil), ainsi que de l'effet de la force centripète due à la rotation de la Terre autour du barycentre Terre-Lune. Elles provoquent des changements du niveau d'eau le long des côtes qui s'expriment de façon différente en chaque point du globe en raison de nombreux effets additionnels : inertie du déplacement de l'eau, effets induits par la marée elle-même et les déformations terrestres, propagation des ondes différentes induites par des facteurs tels que la force de Coriolis, la taille et la forme du bassin de la mer ou de l'océan, ou la forme du relief littoral (Huggett, 2007). Dans certaines mers, comme la Méditerranée ou la mer Noire ce phénomène est tellement faible qu'il peut être négligé, mais ailleurs les marées peuvent atteindre 15 mètres de différence entre la marée basse et la marée haute. Le courant dans les deux sens à l'embouchure d'une rivière, le courant d'écoulement du fleuve d'un côté et le courant contraire périodique de la marée, déterminent la façon dont les sédiments sont déposés. Les marées produisent également des courants de marée qui courent le long du littoral. Ils transportent et érodent les sédiments quand ils sont forts, comme dans les estuaires.

Le climat est l'ensemble des conditions météorologiques moyennes (température, précipitations, éclaircissement, pression atmosphérique, vent) qui caractérisent l'atmosphère en un lieu donné. On peut donc distinguer trois zones climatiques générales : la zone polaire au climat froid, la zone tempérée, et la zone intertropicale au climat chaud (tropicale et subtropicale). A l'intérieur d'une certaine zone climatique les conditions météorologiques ne sont pas identiques. La présence des mers et océans ou des montagnes a un rôle très important qui affecte le climat de la région. On distingue des régions avec un climat maritime ou océanique, des régions avec un climat continental, ainsi que des régions au climat montagnard. Le climat exerce une influence profonde sur les formes de relief : des formes de relief spécifiques sont associées à chaque région climatique (Tricart & Cailleux, 1972; Büdel, 1982). Sans aucun doute le climat influence fortement les processus géomorphologiques, mais, surtout dans le cas des deltas, il est peu probable qu'à chaque zone climatique soient associées des formes de relief caractéristiques. L'importance de certains facteurs de contrôle change en fonction de la zone climatique, mais les formes de relief deltaïques se ressemblent.

Le climat est un facteur de contrôle qui joue un rôle très important sur le débit liquide des rivières, car le débit est en corrélation avec la quantité de précipitations tombées dans le bassin versant. Le débit liquide est dans une relation intime avec le débit solide, donc chaque changement dans le débit liquide a des répercussions sur la charge sédimentaire.

Au cours des 1500 dernières années, deux phases de variation globale des températures ont été identifiées (Le Roy Ladurie, 1967 ; Mann, 2002a, 2002b ; Mann et al., 2009). Une première phase relativement chaude dite « Optimum Climatique Médiéval » ou « Anomalie Climatique Médiévale » (Xoplaki et al., 2011) du Xe au XIVe siècle. La deuxième a été une phase de refroidissement dite « Petit Âge Glaciaire » de 1550 à 1850, qui a été attribuée à une réduction du rayonnement solaire et à un épisode de forte activité volcanique (Grove, 1988 ; Grove, 2006).

Beaucoup d'autres facteurs peuvent également influencer la forme d'un delta. Coleman et Wright (1975) soulignent aussi la nature du bassin récepteur et la nature du bassin de drainage. Tous ces facteurs ne sont pas indépendants. Le type et la quantité de sédiments, par exemple, sont fonction de la taille, du relief, du climat et de la géologie du bassin versant. Le relief peut dépendre de la tectonique du bassin de drainage. L'énergie des vagues ou des marées peut être fonction de l'eustatisme, de la pente de la plate-forme continentale, de la taille et de la forme du bassin récepteur. L'énergie des vagues est également liée au climat, par exemple, à la direction et à la résistance du vent (Bhattacharya, 2006). Le type de sédiments et le taux d'approvisionnement sont également influencés par l'absence de la végétation, ce qui a donné lieu à des taux de sédimentation plus élevés (Stow, 1986, MacNaughton et al., 1997). La présence de la végétation joue un rôle important dans l'augmentation de la rugosité des berges et dans la diminution de la mobilité des chenaux. La végétation peut avoir aussi des implications dans la rétention des sédiments deltaïques et sur la stratigraphie (Lauzon & Murray, 2018).

1.3.2 Les facteurs de contrôle anthropiques

Aujourd'hui la Terre se trouve dans l'époque géologique dominée par l'homme, que certains ont nommée Anthropocene (Crutzen & Stoermer, 2000). La limite chronologique marquant le début de cette période est encore discutée. Selon Steffen et al. (2011), 1800 représenterait le seuil à retenir, marqué par les effets de la révolution industrielle. Toutefois, le début de la phase dite de la grande accélération post Seconde Guerre mondiale, marquée par une intensification considérable des activités humaines, pourrait aussi représenter une limite pertinente (Steffen et al., 2015). D'autres auteurs (Lewis & Maslin, 2015) nous proposent 1610 et 1964 comme dates pour les changements significatifs des milieux suite à la pression des sociétés humaines (multiplication des échanges commerciaux pour la 1^{ère}, des essais nucléaires pour la seconde). D'autres hypothèses parlent d'un Anthropocène précoce lié aux pratiques agricoles, situé à environ 2000 BP (Certini & Scalenghe, 2011).

Les deltas sont des milieux de très forte productivité biologique, grâce aux accumulations organiques, et sont généralement propices à l'agriculture. Dans certaines régions l'homme s'est par conséquent installé très tôt sur ces espaces dont certains figurent parmi les plus densément peuplés au monde. L'anthropisation des deltas est donc parfois très ancienne, dépassant les dates proposées pour l'Anthropocène, et a surtout consisté à l'origine à mettre en culture ces espaces et à les protéger des inondations et des incursions d'eaux marines.

Depuis la révolution industrielle du XIX^{ème} siècle, et surtout depuis la seconde moitié du XX^{ème} siècle, après la Deuxième Guerre mondiale, on note une intensification considérable des activités humaines, entraînant une forte pression des sociétés sur les milieux. Cette grande accélération a été identifiée comme le facteur clé de l'intensification des processus d'altération des cours d'eau au cours de la seconde moitié du XX^{ème} siècle (Gregory, 2006). La très faible altitude des deltas au-dessus du niveau de la mer et leur

tendance naturelle à la subsidence, en raison des quantités considérables de sédiments qui s'y accumulent, en font en outre des espaces menacés par la hausse contemporaine du niveau de la mer.

Plusieurs types d'intervention représentant une perturbation directe ou indirecte pour les systèmes fluviaux peuvent être individualisés.

La régulation des rivières par construction de barrages et de réservoirs

La régulation des rivières par la construction de barrages et de réservoirs peut provoquer des réponses très variées et complexes selon les caractéristiques du cours d'eau, des structures mises en place et des usages qui en sont faits (Petts, 1979 ; Williams & Wolman, 1984 ; Kondolf, 1997 ; Brandt, 2000 ; Grant et al., 2003 ; Petts & Gurnell, 2005 ; Graf, 2006 ; Rollet, 2007 ; Schmidt & Wilcock, 2008 ; Souchon & Nicolas, 2011 ; Grant, 2012 ; Arnaud, 2012).

La construction des réservoirs a augmenté rapidement au cours de la deuxième moitié du siècle dernier, le nombre de barrages enregistrés ayant augmenté de 688% entre 1950 et 1986 (Vörösmarty et al., 1997). 60% des rivières du monde sont affectées par les barrages (Syvitski et al., 2005a).

La mise en place de barrages a d'abord eu un effet sur les flux d'eau, avec la réduction des pics de crue à l'aval, ainsi que l'intensification ou l'homogénéisation des étiages, selon les cas. Les barrages ont aussi un effet direct sur le transfert sédimentaire, en agissant comme pièges à sédiment et en réduisant en général la charge sédimentaire des rivières (Walling and Fang, 2003; Vörösmarty et al., 2003; Syvitski et al., 2005a).

Nous constatons que l'apport de sédiments des deltas a été réduit, voir éliminé, à toutes les échelles (Syvitski et al., 2009). Pour donner un exemple, l'inventaire national des barrages des États-Unis compte 38 100 barrages de plus de 6 m de hauteur bloquant le flux sédimentaire dans le seul bassin versant du fleuve Mississippi (Bhattacharya, 2006).

La chenalisation et la modification de tronçons fluviaux

La chenalisation englobe tous les aménagements de rivière visant à accélérer l'écoulement par surdimensionnement et simplification de la géométrie des lits mineurs, et réduction de la rugosité, dans le but de réduire les inondations ou pour la navigation. Des ouvrages de stabilisation (seuils, digues) et des actions d'entretien du lit (curage, dragage, nettoyage de la végétation) accompagnent souvent ces interventions (Wasson et al., 1995). Par l'augmentation des débits, ce type d'intervention provoque généralement une tendance à l'incision, l'érosion latérale étant limitée par les structures de protection des berges. La chenalisation peut par ailleurs provoquer une érosion régressive à l'amont, ainsi qu'une accentuation des crues et des dépôts sédimentaires à l'aval (Robbins & Simon, 1983 ; Brookes, 1988).

L'étalement urbain

Environ 25% de la population mondiale vit dans des deltas et les zones humides situés sur les côtes (Syvitski et al., 2005a). Dans de nombreux deltas, en particulier en Asie, les populations ont considérablement augmenté à mesure que les gens ont convergé vers les zones côtières urbaines (Milliman, 1997). Des deltas comme ceux du Chao Phraya, Bengale, Yangzi Jiang et du Nil ont attiré de grandes populations tout en conservant une production agricole importante. Cela a impliqué l'utilisation croissante des eaux souterraines pour compléter les réserves d'eau de surface en diminution, ce qui a entraîné une subsidence accélérée (Waltham, 2002).

Les changements d'occupation du sol

Le changement d'occupation du sol dans les bassins versants des rivières peut conduire à une modification des taux d'érosion et de ruissellement. En fait, la déforestation des versants pour conquérir de nouvelles terres et répondre ainsi aux besoins alimentaires de la population croissante a augmenté la charge sédimentaire transportée par les rivières et a accéléré la croissance de nombreux deltas au cours des 2000 dernières années (McManus, 2002). Les mesures prises pour lutter contre l'érosion et l'intensification des phénomènes extrêmes, comme les inondations, ont réduit la quantité des sédiments transportés par les fleuves. En France, pour donner un exemple, la reforestation des versants, mise en œuvre à la fin du XIX^{ème} siècle dans une optique de conservation, à partir de 1860 (Lilin, 1986 ; Combes, 1989), a réduit considérablement les taux d'érosion du sol et surtout le transfert des sédiments fins vers les chenaux (Landon & Piégay 1994 ; Peiry & Nouguier, 1994 ; Bravard, 2001).

Les transferts d'eau

Les transferts d'eau pour l'irrigation ou autre usage humain, ont tendance à réduire la compétence des cours d'eau, impliquant une réduction de la force tractrice et par là même du transport sédimentaire. L'exemple de l'Espagne concernant le contrôle total de l'homme sur les bassins versants du pays est éloquent, car ici, pour des raisons liées au transfert d'eau utilisée pour l'agriculture, tous les bassins versant sont interconnectés (Swyngedouw, 2015). A l'inverse, les apports issus de drains ou de fossés d'évacuation génèrent ponctuellement une accentuation des transferts sédimentaires (Li et al., 2000 ; Karr et al., 2000).

L'extraction des combustibles fossiles

On estime que les deltas hébergent près de 30% de l'ensemble des réserves mondiales d'hydrocarbures, de charbon et de gaz (Tyler & Finley, 1991). Certains deltas sont le lieu d'importantes extractions de pétrole et de gaz comme dans les deltas du Niger, Magdalena, Mahakam, Mackenzie ou Mississippi (Rainwater, 1975; Onu, 2003). Ces actions peuvent entraîner une subsidence de la surface du sol.

Le delta du Pô a subi une subsidence de 3,7 mètres au cours du XX^{ème} siècle, dont 81% est attribué à l'extraction du méthane (Caputo et al., 1970 dans Syvitski et al., 2009).

Le réchauffement climatique

La période actuelle de réchauffement climatique à la surface de la Terre, observée depuis le début du XX^{ème} siècle (+ 0,85°C sur la courbe des températures mondiales moyennes depuis 1880 - IPCC, 2014), se traduit par l'augmentation du niveau de la mer et, localement, par une accentuation des extrêmes de température et de précipitation. Cette dernière période a principalement été attribuée à une augmentation de la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère sous l'effet de l'intensification des activités humaines (IPCC, 2014).

Les effets possibles de l'évolution climatique actuelle, ont donc été envisagés comme facteur additionnel pour expliquer les changements observés à la fin du XIX^e siècle (Bravard, 1989 ; Rumsby & Macklin, 1996 ; Liébault & Piégay, 2002 ; Arnaud-Fassetta, 2003 ; Gob et al., 2008 ; Astrade et al., 2011 ; Carozza et al., 2012 ; Métivier & Barrier, 2012).

Conclusion du chapitre 1

Les deltas sont des formes de relief azonales qu'on retrouve sur tous les continents et dans toutes les zones climatiques de la terre. Il s'agit d'un milieu d'interactions entre les processus fluviaux et marins, caractérisé par un bilan sédimentaire global en faveur du fleuve. Ce dernier doit en effet apporter plus de sédiments que la houle ou les marées ne peuvent évacuer par le courant de dérive littorale. Dans cette configuration des rapports de forces, le delta se développe, accumule progressivement des sédiments et progresse en direction du large. La morphologie et l'architecture des faciès deltaïques reste toutefois variable selon la balance entre les processus : arquée, lobée avec une influence plus ou moins forte des vagues ; allongée, estuarienne selon l'importance de la marée (Galloway, 1975), La morphologie et l'étendue d'un delta sont intimement liés aussi à la taille et aux caractéristiques de son bassin versant.

La morphologie et l'architecture des faciès d'un delta sont contrôlées par l'importance de chaque processus parmi les trois dominants (la houle, la marée et le fleuve) par le contraste de salinité entre l'eau du fleuve et la masse d'eau stagnante, par le débit et la taille de la charge sédimentaire et par la morphologie du bassin récepteur.

Cependant, l'histoire d'un delta n'est pas linéaire. Ils sont des formes de relief avec une évolution cyclique, après une phase de construction, d'avancement de la terre sur la mer, suite une phase de destruction, d'érosion du delta, suite à divers changements des forces actives dans cette région d'interface entre la terre et la mer. Les apports sédimentaires fluviaux peuvent se réduire, les conditions météo-marines se modifier et ainsi déclencher des phases d'érosion du littoral. Le développement du delta peut être contraint sévèrement par l'eustatisme, la subsidence et la tectonique avec pour conséquence une avancée ou un recul du trait de côte.

Les deltas méditerranéens commencent à se former et à accumuler des sédiments en domaine émergé entre 8 000 et 6 500 BP (Stanley et Warne, 1994). C'est à cette période que l'on note un net ralentissement de la hausse globale du niveau marin, hausse initiée significativement depuis la fin de la dernière période glaciaire vers 14 000 BP (Fléming et al., 1998). La remontée eustatique joue toujours le rôle fondamental mais secondaire dans la compréhension des dynamiques littorales. Ce sont les vents et les vagues qui deviennent alors les principaux processus marins s'opposant à l'activité fluviale.

Pendant la phase de construction du delta les facies présentent une succession croissante de la taille des sédiments. En partant à la base des sédiments fins caractéristiques au prodelta, suivis par des sédiments plus grossiers du front du delta et des sédiments avec une taille encore plus importante, déposés dans le distributaire actif. Suite à l'abandon du distributaire on retrouve des facies caractérisés cette fois par une granulométrie décroissante, d'abord avec une alternance des sédiments grossiers et fins, d'une plaine d'inondation avec un fonctionnement rythmé par les périodes des crues et d'étiage et ensuite, avec l'éloignement du distributaire actif, des facies avec une granulométrie fine, caractéristique des milieux calmes avec une sédimentation par décantation. Souvent les faciès deltaïques peuvent être érodés ou transformés en partie ou en totalité, suite aux actions des vagues, des marées ou d'interventions anthropiques, ce qui rend plus difficile la reconstitution d'évolution de ces milieux à l'aide des analyses sédimentaires.

Ayant une valeur importante, tant d'un point de vue écologique qu'économique, les deltas sont des centres importants d'implantation humaine et d'agriculture. Souvent la population abritée par les deltas est concentrée dans de grandes villes, comme c'est le cas à Shanghai (Yangzi Jiang), Guangzhou (Zhu Jiang), Yangon (Irrawaddy), Calcutta et Dhaka (Ganges–Brahmapoutre), Karachi–Hyderabad (Indus), Buenos Aires (Paraná), New Orléans (Mississippi), Lagos (Niger), Ho Chi Minh City (Mékong), Houston (Brazos)...

À lui seul, le delta du Nil compte près de 50 millions d'habitants et accueille les grandes villes d'Alexandrie et du Caire. Avec une densité de population qui dépasse parfois 1 000 hab./km², comme c'est le cas pour les deltas de Gange-Brahmapoutre (1 280 hab./km²), Nil (1 920 hab./km²), Huang Ho (1 240 hab./km²) et Yangzi Jiang (1 290 hab./km²), et d'autres deltas avec une densité de population qui dépasse 100 hab./km², comme l'Irrawaddy (319 hab./km²), le Mékong (413 hab./km²), le Niger (211 hab./km²), le Rio Grande (145 hab./km²) ou la Volga (158 hab./km²), les deltas ont subi des transformations et une artificialisation importantes.

Les plaines des deltas, qui étaient autrefois des vastes zones humides, hébergent souvent maintenant des vastes polders agricoles. Ces transformations locales se produisent souvent de manière synchrone avec des changements dans les bassins versants contributeurs. Les sociétés humaines contrôlent souvent les facteurs clés qui affectent la croissance et l'évolution d'un delta comme le flux de sédiments (Syvitski et al., 2005a), les débits d'eau (Vörösmarty et Sahagian, 2000), ou la position de la côte (Syvitski et al., 2005b). On peut donc s'attendre à ce que la plupart des deltas se réduisent, comme c'est déjà le cas pour certains (Syvitski & Saito 2007 ; Syvitski, 2008, Syvitski et al., 2009, Renaud et al, 2013).

Chapitre 2

Le Danube, son bassin versant et son delta

Le Danube, la rivière la plus internationale du monde (Jageman, 2010), prend sa source dans le massif montagneux de la Forêt Noire, en Allemagne. Le grand fleuve reçoit le nom Danube (Donau en Allemand) dans la ville de Donaueschingen, juste après la confluence de deux cours d'eau, la Breg (source située à 1 078m altitude) et la Briach (source située à 1 125 m altitude).

D'une longueur de 2 860 km, le Danube est le deuxième fleuve le plus long d'Europe, après la Volga (3 530km) en Russie, et le 21ème au monde. Il traverse quatre capitales européennes (Vienne, Bratislava, Budapest et Belgrade), et 10 pays (Allemagne, Autriche, Slovaquie, Hongrie, Croatie, Serbie, Bulgarie, Roumanie, Moldavie et Ukraine), avant de se jeter dans la mer Noire.

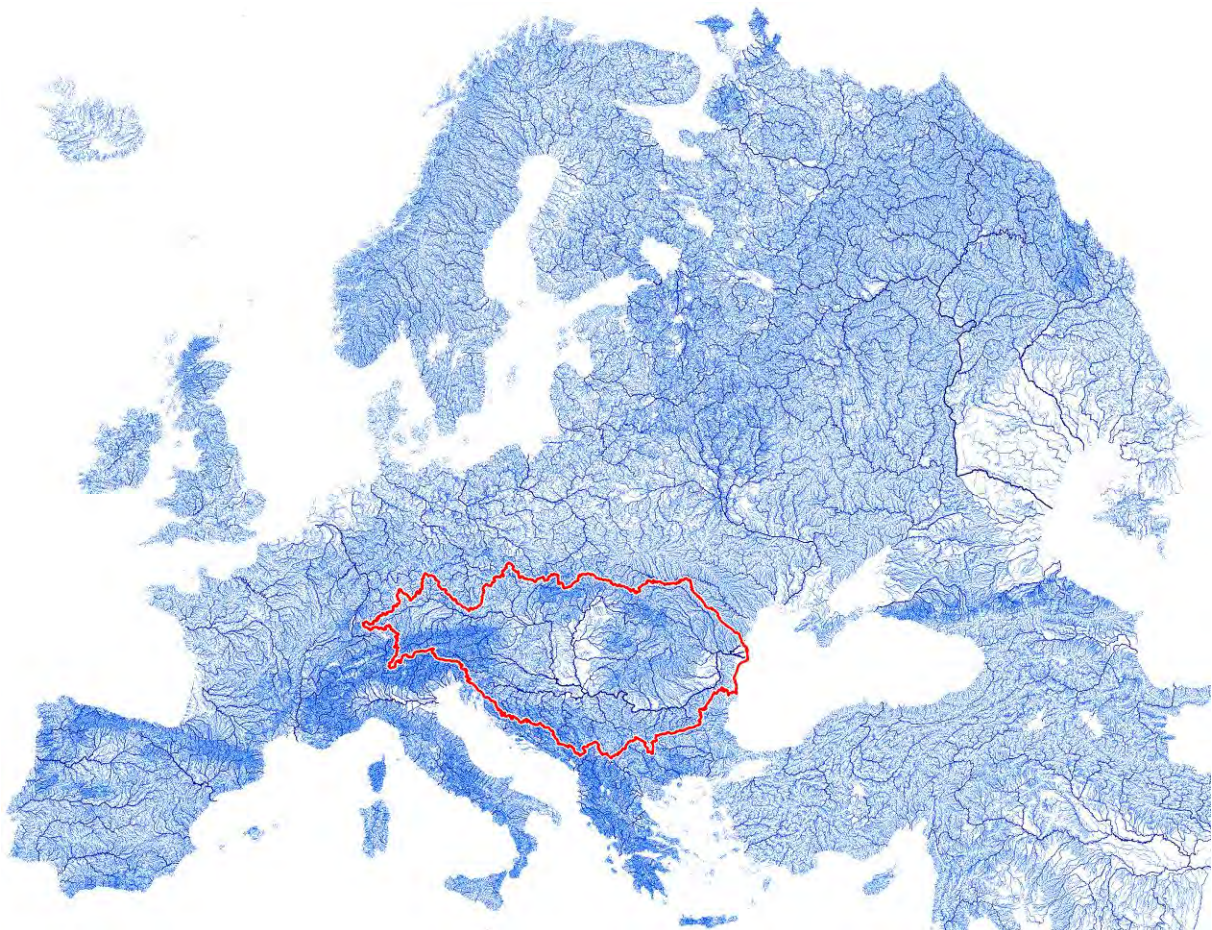


Fig.2.1 Le Danube, un grand fleuve européen
Source : Ecrins v1.1 EEA, 2012

Le Danube est la seule grande rivière européenne qui suit un cours général ouest-est (Fig.2.1) et transporte l'eau des massifs montagneux de l'Ouest de l'Europe avec des glaciers,

une couverture de neige en hiver et une pluviométrie abondante, vers les parties plus sèches de la zone centrale-est de l'Europe.

2.1 Le bassin versant du Danube

Le bassin versant du Danube couvre une superficie de 817 000 km² et s'étend sur 19 pays, avec une altitude moyenne de 475m. Le point culminant se situe au Pic Bernina en Suisse, qui s'élève à une altitude de 4 055 m au-dessus du niveau de la mer Noire. Aux 10 pays traversés par le fleuve et mentionnés précédemment on ajoute donc la Suisse, l'Italie, la Pologne, la Bosnie-Herzégovine, la Croatie, la République Tchèque, le Monténégro, l'Albanie et la Macédoine. Selon les caractéristiques géologiques du territoire parcouru, de la provenance des eaux qui alimentent le fleuve et de la pente moyenne, des caractéristiques géomorphologiques et biologiques, des paysages spécifiques, ainsi que des impacts anthropiques, le cours du Danube peut être scindé en plusieurs secteurs.

2.1.1 Organisation du bassin versant danubien

Selon une **division basée sur la géologie** du bassin versant on distingue trois secteurs : le Danube supérieur, dominé par les Alpes, le Danube moyen, traversant le bassin pannonien, et le Danube inférieur avec la plaine roumaine (Fig.2.2). Certains auteurs (Lászlóffy, 1965) divisent le Danube inférieur en deux, en ajoutant un quatrième secteur, le delta du Danube.

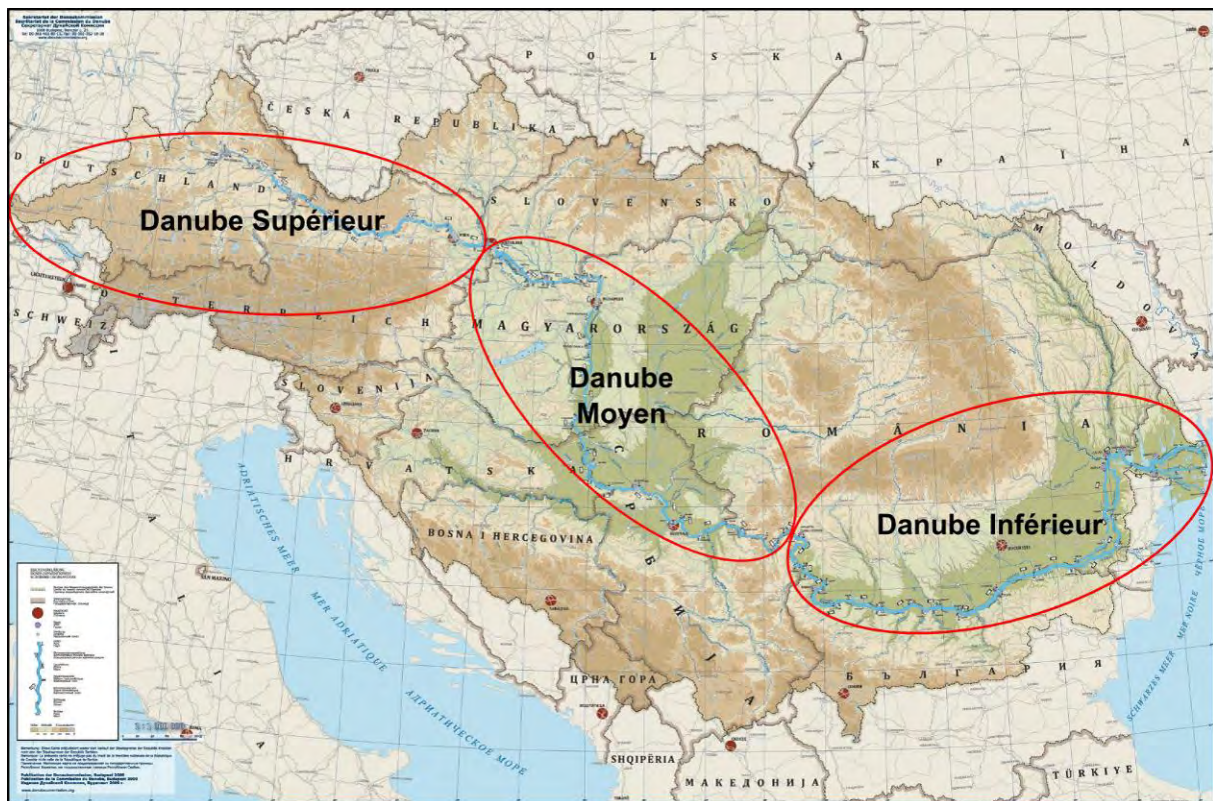


Fig.2.2 L'organisation en secteurs du bassin versant danubien

Source fond de carte : Commission du Danube, 2009

Une autre division du Danube, selon **les écorégions** d'Illies (1978), nous propose 4 secteurs : les Hautes terres centrales, les Basses terres hongroises, les Carpates et la Province Pontique.

La classification basée sur **la pente du fleuve** (Lászlóffy, 1965), divise le bassin versant en six sections (Fig.2.3) : 1 - Tronçon de montagne (pente 1,10 ‰) ; 2 - Danube supérieur (pente 0,40 ‰) ; 3 - Danube moyen (pente 0,06 ‰) ; 4 - Tronçon des gorges (pente 0,32 ‰) ; 5 - Bas Danube (pente 0,04 ‰) ; 6 - Delta du Danube (pente 0,004 ‰). Il faut noter que les grands barrages de Gabčíkovo et des Portes de Fer, qui utilisent aujourd'hui l'eau du Danube pour produire de l'électricité, n'existaient pas au moment de ce découpage. Par conséquent, les anciennes gorges, qui caractérisaient l'écoulement du Danube lorsqu'il franchissait les montagnes des Carpates et des Balkans, forment une section caractéristique.

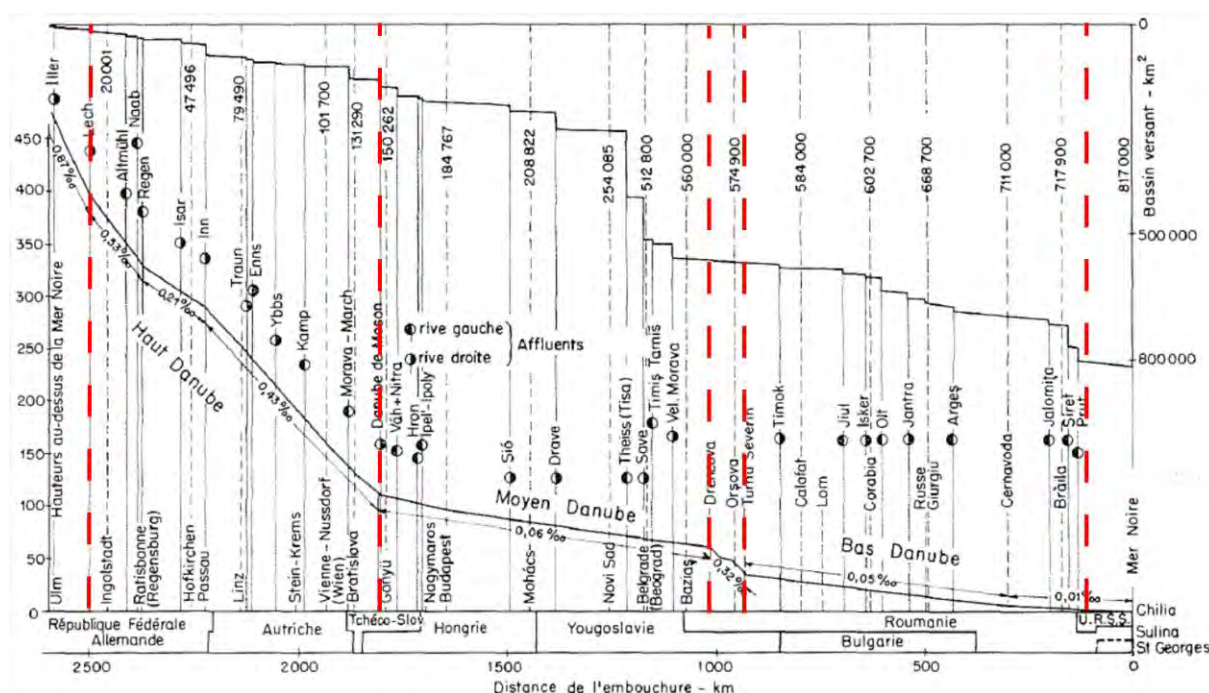


Fig.2.3 Profil en long du Danube avec l'évolution de la surface de son bassin versant
(En rouge les sections du bassin versant en fonction de la pente)
Source : Kresser & Laszloffy, 1964

Literáthy et ses collaborateurs (2002) présentent une division du bassin du Danube en neuf sections, caractérisées par des **critères géomorphologiques du paysage et des impacts anthropiques** (Fig.2.4). La délimitation des sections est faite par les confluences des différentes rivières tributaires du Danube, ainsi que par des structures anthropiques comme des grands barrages : 1 – de Ulm/confluence avec l'Ille jusqu'à la confluence avec l'Inn – caractère de rivière alpine, impactée par des centrales hydroélectriques ; 2 – de la confluence avec l'Inn jusqu'à la confluence avec la Morava - caractère de rivière alpine, impactée par des centrales hydroélectriques ; 3 – de la confluence avec la Morava jusqu'au barrage de Gabčíkovo - Impact de la construction du barrage de Gabčíkovo ; 4 – du barrage de Gabčíkovo jusqu'à Budapest - Changement du caractère alpin, le Danube traverse les hautes terres hongroises ; 5 – de Budapest à la confluence avec la Save - Le Danube traverse les

basses terres hongroises, et est impacté par l'apport important d'eaux usées non traitées de Budapest ; 6 – de la confluence avec la Save jusqu'au barrage des Portes de Fer - le Danube traverse les montagnes des Carpates et des Balkans ; il est impacté par le barrage des Portes de Fer et par des apports importants d'eaux usées non traitées de Belgrade ; 7 – du barrage des Portes de Fer jusqu'à la confluence avec la Yantra - le Danube traverse les basses terres de Valachie, des terrasses alluviales abruptes pouvant atteindre 150 m de hauteur caractérisent la rive droite du fleuve ; 8 – de la confluence avec la Yantra jusqu'à la Reni (Ukraine) – caractéristiques d'une rivière de plaine avec des secteurs d'îles alluviales entre les bras du Danube ; 9 – de la Reni jusqu'à la mer Noire – le Danube se divise en trois grands bras et forme son delta avec des écosystèmes caractéristiques de zones humides.

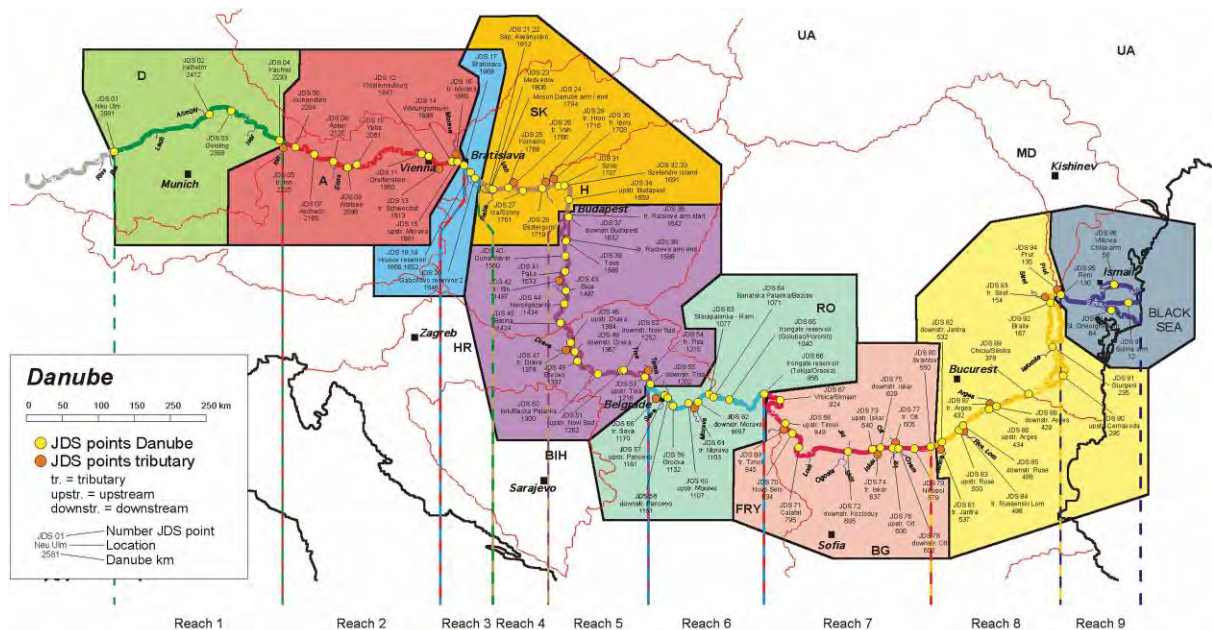


Fig.2.4 Les neuf sections du bassin versant Danube en fonction des critères géomorphologiques du paysage et des impacts anthropiques
 Source : ICPDR/JDS, 2002

Moog et collaborateurs (2008) considèrent que le bassin versant du Danube pourrait être divisé en dix tronçons homogènes en fonction des **caractéristiques géomorphologiques et biologiques**, qui peuvent être regroupés en 3 sections : le Danube supérieur, le Danube moyen et le Bas Danube. Le Danube supérieur comprend trois tronçons : le cours supérieur du Danube, le Danube des Alpes d'Ouest et le Danube des Alpes d'Est. Le Danube moyen est composé de trois tronçons : le Danube Alpin inférieur, le coude hongrois du Danube, la plaine Pannonienne et le Danube des Portes de Fer. Le Bas Danube a trois tronçons : le Danube Pontique à l'Ouest, le Danube Valachien à l'Est et le delta du Danube.

D'après Zinke Environment Consulting (1999), 11 **frontières géomorphologiques** (Fig. 2.5) peuvent être distinguées le long du Danube, mais le cours du fleuve touche à 15 régions géomorphologiques parmi les 45 identifiées dans son bassin versant : Moyennes montagnes Souabes et Franconiennes, Forêt Bavaroise et Bohémienne, Collines de Bohême et Moraves, Petite plaine Hongroise, Collines Pannoniennes intérieures, Grande plaine

Hongroise, Montagnes Bosniaques et Serbes, Basses terres de Danube, Drave et Save, Piémonts des Carpates méridionales, Montagnes du Banat et des Balkans occidentaux, Grande plaine Roumaine, Dobrogea et le Danube à chenaux multiples, le Delta du Danube et les limans.

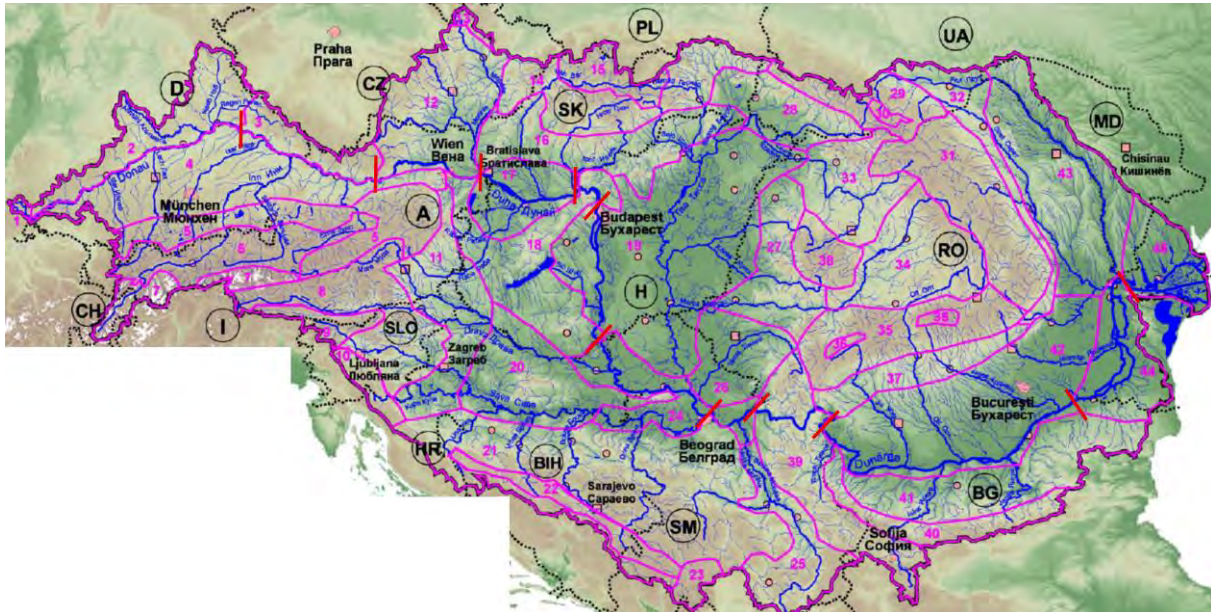


Fig.2.5 Les régions géomorphologiques du bassin versant du Danube
Source : Zinke Environment Consulting, 1999

La coopération régionale entre les pays riverains du Danube a établi en 1986 la division du bassin versant du Danube en trois grandes sections qui figurent dans la monographie hydrologique du Danube et de son bassin (ICPDR/JDS, 2002) : le Danube supérieur, le Danube moyen et le Danube inférieur.

2.1.2 Le Danube supérieur, le Danube moyen et le Bas-Danube

Le **Danube supérieur** ou le **Haut Danube** s'étend de la source du fleuve, située seulement à 676 m d'altitude, près de Donaueschingen, jusqu'en amont de Bratislava, où les Petites Carpates retrouvent le prolongement oriental des Préalpes autrichiennes et les eaux de la Morava rejoignent celles du Danube à une altitude d'environ 135 m. Ce secteur, d'une longueur de 902 km avec une surface du bassin versant de 132 000 km², draine au nord le Jura Souabe, le Jura Franconien, la Forêt de Bavière et, au sud, les Préalpes de la Bavière autrichienne et une grande partie des Alpes jusqu'à la ligne de partage des eaux située au niveau des Alpes centrales. Cependant, un phénomène inédit se produit en aval de la ville de Geisingen (Allemagne), quand le Danube traverse des gorges en calcaires, situées dans le Jura Souabe : le Danube perd une partie de ses eaux en faveur du Rhine (Hötzl, 1996).

Les principaux affluents du Danube supérieur (Iller, Lech, Isar, Inn, Salzach, Traun et Enns) se trouvent sur la rive droite et sont alimentés par des sous-bassins alpins. Plus de 1 000 km² de son bassin versant, situé dans les Alpes d'est, sont couverts de glaciers, et l'eau en provenance de la fonte de ces glaciers représente une source importante d'alimentation du

Danube. L'Inn, qui prend sa source à environ 2 500 m d'altitude en Suisse, est, avec un débit de $760 \text{ m}^3/\text{s}$, l'affluent le plus abondant du Danube supérieur. Son débit est même supérieur à celui du Danube, durant une grande partie de l'année, à leur confluence à Passau (ville allemande à la frontière avec l'Autriche).

Dans ce secteur, le Danube garde une direction générale d'écoulement ouest-est et il peut être désigné comme un fleuve de montagne, aux eaux froides, véloces et capables de transporter d'importantes quantités de matériaux solides par charriage, ayant une pente moyenne sur la totalité du secteur située autour de 0,4%. Le débit moyen du Danube à Vienne a une valeur de $1\,920 \text{ m}^3/\text{s}$, soit un débit spécifique pour ce secteur de $14,5 \text{ l/s/km}^2$.

Le Danube moyen, avec une longueur de 1 044 km et une surface de bassin versant de $445\,000 \text{ km}^2$, commence en aval de Bratislava et se prolonge jusqu'aux Portes de Fer, situées à la frontière entre la Serbie et la Roumanie, près de la ville de Drobeta-Turnu Severin. A une altitude d'environ 40 m, c'est l'endroit où les Carpates méridionales se rattachent aux chaînes balkaniques. Ce secteur est délimité essentiellement par les Carpates au nord et à l'est, par les prolongements des contreforts alpins en Slovénie et en Autriche à l'ouest, et par les Alpes dinariques au sud. Cet ensemble de massifs encercle le vaste bassin pannonien, constitué par la Transylvanie, la grande plaine hongroise, et son prolongement méridional, la Voïvodine.

En traversant la grande plaine hongroise, le Danube moyen, qui change d'orientation et coule vers le sud n'est alimenté que par des affluents mineurs. En revanche, après avoir quitté la Hongrie, le fleuve reçoit plus de la moitié de son débit sur un tronçon de plus de 200 km, là où trois affluents majeurs (Drave, Tisza et Save) le rejoignent en lui apportant environ $3\,300 \text{ m}^3/\text{s}$. Avant d'entrer dans les gorges des Portes de Fer, le Danube reçoit son dernier affluent important en rive droite, la Velika Morava. C'est avec un débit d'environ $5\,600 \text{ m}^3/\text{s}$ qu'il franchit, sur approximativement 130 km, les contreforts des Balkans et les Carpates pour atteindre la Plaine Roumaine, soit un débit spécifique de $9,7 \text{ l/s/km}^2$.

En aval de Bratislava, avec une pente moyenne comprise entre 0,08‰ et 0,03‰, à comparer à la pente de 0,4‰ dans la vallée supérieure (Fig.2.3), le Danube dépose la quasi-totalité des matériaux charriés depuis l'amont.

Le Danube inférieur ou **Bas-Danube**, avec une longueur de 955 km et une surface du bassin versant de $241\,000 \text{ km}^2$, débute en aval des Portes de Fer et jusqu'à la mer Noire. Ce secteur, occupé en grande partie par la Plaine roumaine, est borné par les Carpates à l'ouest, les Balkans au sud, la mer Noire à l'est et le plateau de Bessarabie au nord. C'est entre le plateau de Dobrogea au sud et le plateau de Bessarabie au nord que le Danube forme son delta.

Sur les premiers 472 km, le Danube inférieur sépare la Roumanie, au nord, de la Bulgarie au sud. Sur cette première partie le Danube reçoit plusieurs affluents en rive gauche avec des débits moyens annuels compris entre $40 \text{ m}^3/\text{s}$ et $150 \text{ m}^3/\text{s}$: Jiu, Olt, Vedea, Arges, Ialomita. A seulement une centaine de km à vol d'oiseau de la mer Noire, le Danube tourne brusquement vers le nord, pour contourner les reliefs de la Dobrogea roumaine. Sur ce secteur

situé entre les villes de Calarasi au sud et Braila au nord, à cause de sa pente de plus en plus douce et du relief traversé, le fleuve s'étend dans la basse plaine roumaine, située en rive gauche. Le Danube présente sur ce secteur un chenal anastomosé, d'une largeur maximale d'environ 25 km, et forme deux grandes îles, nommées Balta Ialomitei et Balta Brailei. Entre les deux îles, pour une distance approximative de 5 km, le Danube revient à un chenal unique avec une largeur minimale de 0,5 km. Près de la ville de Galati, le Danube change à nouveau de direction pour aller vers l'est et atteindre la mer Noire à travers son delta. Entre Braila et l'apex de son delta, le Danube présente à nouveau un chenal unique pour environ 90 km avec des largeurs comprises entre 0,5 et 1 km. Ses deux derniers grands affluents de rive gauche sont le Siret et le Prut, descendus de la forêt des Carpates. Leurs débits sont toutefois trop faibles pour pouvoir influencer le régime d'écoulement du Danube d'une manière significative.

L'ensemble des affluents du Danube inférieur est peu abondant et n'apporte au fleuve qu'environ 900 m³/s, ce qui représente moins de 14 % de la moyenne annuelle du débit enregistrée à l'entrée de son delta, évalué à 6500 m³/s, soit un débit spécifique de 7,9 l/s/km². En aval des Portes de Fer, le Danube devient un fleuve typique de plaine, bordé d'amples plaines d'inondation, plus vastes sur la rive gauche. La pente sur ses derniers 250 km, portion deltaïque comprise, n'est d'ailleurs plus que de 0.004‰.

2.1.3 Caractéristiques hydro-climatiques du Danube

Particularités du climat danubien

En raison de sa grande extension, principalement d'ouest en est, plusieurs zones climatiques couvrent le bassin versant du Danube (Fig. 2.6).

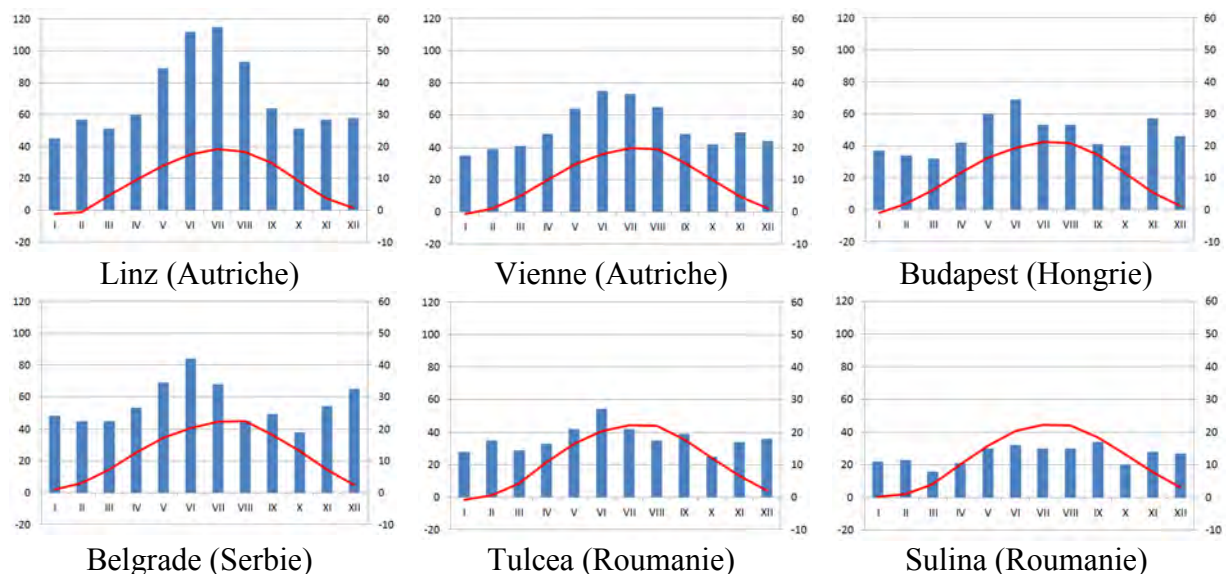


Fig.2.6 Diagrammes climatiques pluriannuels dans le bassin versant du Danube précipitations (mm)/ températures (°C)

Source des données : climat-data.org

Deux types principaux de climats se retrouvent au sein du bassin danubien. Dans la partie ouest nous rencontrons un climat à forte influence atlantique, humide et aux hivers doux, tandis que dans l'est le climat se continentalise, devient plus sec et avec des hivers froids. Un troisième type de climat est aussi ressenti, seulement dans la partie sud-ouest du bassin, en particulier dans les bassins de la Drave et de la Save, le climat méditerranéen, avec des sécheresses estivales marquées et des hivers doux.

Ce zonage climatique est fortement influencé par les caractéristiques du relief. Les altitudes importantes, situées surtout dans la partie ouest du bassin versant, sont associées à une augmentation des précipitations, principalement en raison des caractéristiques atlantiques du climat. D'autre part, les régions à basse altitude sont plus influencées par les conditions continentales et sont donc déficitaires en précipitations. Dans les zones montagneuses, des variations climatiques locales sont liées à l'exposition des versants : ceux exposés à l'ouest et au nord-ouest reçoivent plus de précipitations que les versants exposés à l'est et au sud-est.

Les précipitations moyennes maximales, autour de 3 200 mm/an, se situent dans les Alpes, tandis que la zone la plus aride est située près de la mer Noire avec une moyenne de seulement 350 mm/an. Entre les deux extrêmes il y a une grande variété de pluviométries selon l'emplacement dans le bassin versant, l'altitude et l'exposition. Dans le Danube supérieur il y a déjà de grandes différences. Dans les Alpes, les précipitations sont généralement élevées, jusqu'à 2 000 et 2 500 mm/an, mais les précipitations les plus faibles sont enregistrées dans la vallée supérieure de l'Inn, qui a une orientation générale ouest-est et est en position d'abri, avec seulement 600-700 mm/an. Dans les régions du Danube moyen et du Bas Danube, les précipitations les plus élevées sont enregistrées également dans les montagnes : jusqu'à 2 000 mm/an dans certaines parties des Carpates, et jusqu'à plus de 2 000-2 500 mm/an dans les chaînes de montagnes orientées vers le sud des Alpes Juliennes et des Dinarides, sous l'influence des masses d'air chaud et humide provenant de la Méditerranée. Dans les plaines du Danube moyen et inférieur, le climat est déjà sec. Les précipitations chutent à 600 mm/an, à 500 mm/an dans le bassin pannonien et à des valeurs encore plus basses dans la Dobrogea et les régions sub-littorales près de la mer Noire.

Les moyennes pluriannuelles nous indiquent que le maximum des précipitations dans la partie ouest du bassin du Danube tombe au milieu de l'été, au mois de juillet, et le minimum au printemps, au mois d'avril. A l'Est du bassin versant le maximum est atteint un peu plus tôt dans l'été, vers juin voire mai, changement lié aux spécificités du climat continental, et le minimum se produit au milieu de l'hiver, au mois de février, parfois en janvier. Dans les montagnes d'altitude moyenne, situées sous l'influence du climat atlantique, il y a souvent des pointes de précipitations supplémentaires pendant les mois d'hiver, en décembre et janvier. Dans certains endroits, elles peuvent être plus élevées qu'en été, comme par exemple dans la forêt bavaroise et bohémienne. Dans les régions influencées par les conditions méditerranéennes les mois d'octobre et décembre sont les plus pluvieux et l'été est sec.

Les précipitations annuelles peuvent varier de façon considérable par rapport à la valeur moyenne pluriannuelle. Au cours d'une année humide, par exemple 1965, les valeurs moyennes peuvent être dépassées de 140-150% dans les Alpes et de 130-150% dans les

Carpates. Au cours d'une année sèche comme 1947, les précipitations peuvent descendre en dessous de 400 mm dans les plaines allemandes et autrichiennes et dans les bassins intramontagnards. La valeur de 233 mm/an enregistrée à Targoviste (Roumanie) en 1944 est considérée comme le minimum absolu sur le bassin versant du Danube (Brilly, 2010).

La proportion de neige dans les précipitations totales et la durée de la couverture neigeuse est influencée par l'altitude mais aussi par l'influence du climat continental, de plus en plus forte d'ouest en est. La durée moyenne d'enneigement est de 9 à 12 jours/an dans les régions près de la mer Noire, de 20 à 30 jours/an dans les plaines du Danube moyen, de 40 à 60 jours/an dans les régions de basse altitude du Danube supérieur, jusqu'à 100 jours/an dans les régions hautes des moyennes montagnes et piémont alpin, de 4 à 6 mois/an dans les Alpes au-dessus des 1 500 m d'altitude, de 6 à 8 mois/an au-dessus des 2 000 m et de 8 à 10 mois/an au-delà des 2 500 m. La couverture neigeuse reste plus longtemps dans les montagnes situées dans la partie est du bassin danubien que dans les Alpes, par exemple à plus de 2 000 m d'altitude l'enneigement a une durée de 7 à 8 mois/an dans les Carpates.

Les débits moyens du Danube

Etant donné la diversité des conditions géomorphologiques et hydroclimatiques de son bassin versant, le Danube présente le long de son cours des variations marquées de son débit et de son régime (Fig.2.7). Le Danube se transforme d'une rivière torrentielle de montagne à un grand fleuve des basses plaines.

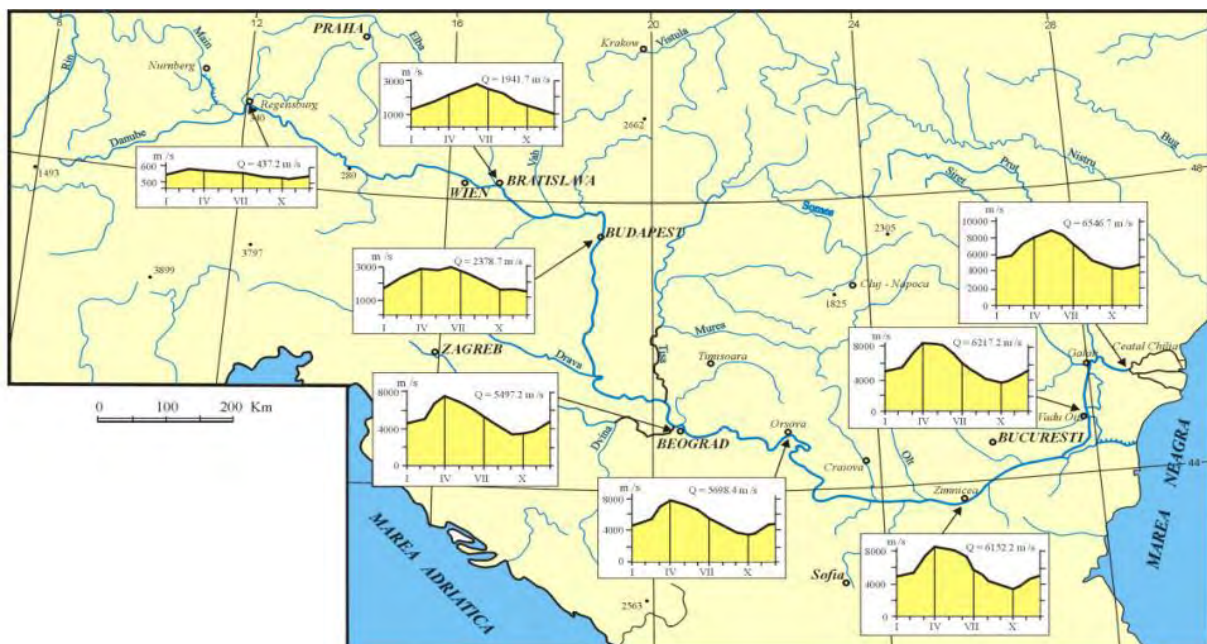


Fig.2.7 Diagrammes de régime dans le bassin versant danubien

Source : Gastescu, 2017

Le débit du Danube dans la partie amont de son cours, et encore jusqu'à Ulm est beaucoup plus faible qu'à l'aval de l'embouchure de l'Inn et présente de faibles valeurs d'août à octobre, et des valeurs moyennes mensuelles élevées au printemps. Le régime est donc typiquement celui d'un cours d'eau descendu de la moyenne montagne.

Le régime d'écoulement du Danube subit sa première modification à la confluence avec l'Ille, rivière descendue des Alpes, et dont les très importants débits d'été ont pour effet d'influencer la valeur maximale de la courbe des débits du Danube.

| | Rivière | Rive du Danube | Longueur (km) | Surface bassin versant (km²) | Débit moyen (m³/s) |
|----|----------------|-----------------------|----------------------|--|--------------------------------------|
| 1 | Ille | droite | 146 | 2 147 | 70 |
| 2 | Lech | droite | 265 | 4 125 | 200 |
| 3 | Altmühl | gauche | 227 | 3 258 | 22 |
| 4 | Naab | gauche | 97,5 | 5 225 | 49 |
| 5 | Regen | gauche | 191 | 2 878 | 40 |
| 6 | Isar | droite | 283 | 9 000 | 174 |
| 7 | Inn | droite | 525 | 26 130 | 735 |
| 8 | Traun | droite | 156 | 4 277 | 150 |
| 9 | Enns | droite | 349 | 5 940 | 195 |
| 10 | Kamp | gauche | 153 | 1 752 | 13 |
| 11 | Moravie | gauche | 329 | 27 633 | 110 |
| 12 | Raab | droite | 398 | 5 841 | 63 |
| 13 | Vah | gauche | 402 | 20 000 | 161 |
| 14 | Hron | gauche | 289 | 5 454 | 55 |
| 15 | Ipel | gauche | 233 | 5 108 | 22 |
| 16 | Sio | droite | 129 | 9 216 | 39 |
| 17 | Drave | gauche | 720 | 11 828 | 577 |
| 18 | Tisza | gauche | 966 | 157 100 | 794 |
| 19 | Save | droite | 940 | 95 720 | 1 564 |
| 20 | Timis | gauche | 349 | 10 280 | 47 |
| 21 | Velika Morava | droite | 563 | 37 444 | 232 |
| 22 | Cerna | gauche | 79 | 1 380 | 24 |
| 23 | Timok | droite | 189 | 4 630 | 31 |
| 24 | Jiu | gauche | 339 | 10 070 | 86 |
| 25 | Iskar | droite | 360 | 8 646 | 54 |
| 26 | Olt | gauche | 615 | 24 050 | 174 |
| 27 | Vedea | gauche | 224 | 5 430 | 12 |
| 28 | Yantra | droite | 585 | 7 862 | 47 |
| 29 | Arges | gauche | 350 | 12 550 | 71 |
| 31 | Ialomita | gauche | 417 | 10 350 | 45 |
| 32 | Siret | gauche | 726 | 44 835 | 240 |
| 33 | Prut | gauche | 967 | 27 500 | 110 |

Tableau 2.1 : Données des principaux affluents du Danube

Les apports d'autres rivières de montagne à régime nival et glaciaire, notamment la Lech et l'Isar (Tableau 2.1), contribuent à augmenter progressivement les débits d'été du Danube, mais les affluents de rive gauche provenant de la moyenne montagne rééquilibrent le régime avec des hauts débits de fonte nivale et la fréquence de leurs crues hivernales.

Le débit moyen annuel du Danube croît de 116 m³/s à Ulm jusqu'à près de six fois cette valeur à l'amont de Passau. Le plus faible volume mensuel s'écoule au mois d'octobre tandis que le volume mensuel maximal est enregistré au mois d'avril.

La confluence avec l'Inn change radicalement le régime du Danube, et lui donne toutes les caractéristiques d'une rivière de montagne, avec des débits élevés en été, et une période de basses eaux en hiver (rétention nivale). Le volume moyen minimal mensuel s'écoule au mois de décembre et le volume maximal correspond au mois de juin (fusion nivale). Par suite de la rétention prolongée des eaux de précipitation dans les zones plus élevées du bassin versant, la période d'étiage du Danube autrichien dure du mois d'octobre jusqu'au début du mois de mars. Les débits augmentent progressivement en mars et en avril à la suite de la fonte des neiges dans les régions préalpines et de moyenne montagne, et après une croissance accusée au mois de mai, atteignent généralement leur valeur maximale au mois de juin.

Le Danube préserve son régime alpin, renforcé par les apports de la Traun et de l'Enns, sur l'ensemble de son cours autrichien, ces deux dernières rivières présentent des débits encore plus élevés que ceux de l'Inn.

Les apports de la Morava et des affluents slovaques et hongrois ne modifient pas le caractère d'écoulement alpin du Danube. Tous les affluents provenant du bassin des Carpates sont caractérisés par des faibles précipitations, des faibles pentes du terrain et d'écoulement, et des taux d'évaporation et d'infiltration élevés. Ceci explique pourquoi la croissance des débits du Danube en Hongrie n'est plus du tout proportionnelle à celle de la superficie de son bassin versant. La répartition dans le temps des débits correspondants à ce tronçon se trouve déplacée jusqu'au mois de mai pour l'écoulement du volume maximal mensuel, et les bas niveaux d'étiage pendant les mois de janvier-mars se situent à une cote plus élevée, étant donné que la fonte des neiges dans les moyennes montagnes de la Slovaquie précède celle des Alpes.

Le régime d'écoulement du Danube subit sa deuxième modification fondamentale, après celle provoquée par l'Inn, et qui lui confère son caractère définitif, qu'il conservera jusqu'à son embouchure, une fois qu'il reçoit l'apport de la Drave, Tisza, Save, et Velika Morava. Ces affluents présentent des régimes d'écoulement très différents.

Le régime de la Drave est très uniforme, et contribue à relever les plans d'eau d'étiage du Danube en hiver, mais augmente également les valeurs maximales de sa courbe de débits correspondant aux mois de mai et juin.

La Tisza draine l'ensemble de la moitié orientale du bassin des Carpates, et, avec sa faible pente et le débit spécifique de son bassin versant, est l'exemple-type d'une rivière de plaine. Grâce à la grande étendue de son bassin versant, son débit moyen atteint à sa confluence avec le Danube une valeur de 1 000 m³/s. L'élément significatif du régime de cette rivière est la valeur maximale de ses débits au printemps et la valeur minimale en automne.

Dans le cas de la Save, ce sont les influences méditerranéennes qui prédominent, avec des débits extrêmement faibles entre les mois de juillet et d'octobre, et de forts débits de novembre jusqu'à mai. A l'aval de la confluence du Danube avec la Save la période d'étiage se situe des mois d'août à octobre et les débits les plus élevés s'écoulent pendant les mois d'avril et de mai.

Les apports de la Velika Morava augmentent encore les débits du Danube pendant la deuxième moitié de l'automne et en hiver, et surtout pendant le mois de décembre.

Le débit moyen du fleuve à l'entrée du Bas Danube s'élève à environ 5 600 m³/s. Le Danube reçoit entre les Portes de Fer et son embouchure quelques affluents alimentés par des bassins versants assez importants dans les Carpates et les Balkans, mais étant donné les débits relativement faibles de ces bassins le régime du Danube n'est pas influencé d'une manière significative, bien que les apports du Siret et du Prut augmentent encore une dernière fois les débits moyens du Danube un peu avant le delta.

Les crues du Danube

La formation des crues des grands fleuves est déterminée par l'ordre dans lequel se succède dans le temps l'accumulation des eaux de crue dans le chenal principal et donc par l'arrivée des ondes de crue des affluents. En fonction de la saison et des températures, les eaux en provenance de la fonte des neiges des hautes et moyennes montagnes s'ajoutent à celles des précipitations et accentuent ainsi le niveau des crues.

Les crues du Danube sont extrêmement variables dans l'année étant donné le nombre important des affluents aux régimes divers. Les rivières alpestres écoulent généralement leurs plus forts débits pendant les mois d'été alors que dans la plupart des cas, les affluents descendus des régions moyennes et basses se trouvent en régime de crue en automne ou au printemps. Ainsi, des crues importantes peuvent se produire à n'importe quel mois de l'année dans chacune des trois grandes sections du Danube, tandis qu'une crue exceptionnelle ne se répercute que rarement sur l'ensemble du cours du fleuve, mais reste le plus souvent limitée à certains tronçons bien définis (Kresser & Laszloffy, 1964).

Une typologie des crues du Danube a été proposée (Parde et al., 1967), regroupant selon l'origine les types principaux de crues danubiennes : crues de type nival de plaine soviétique ; crues de type pluvial balkanique ; crues pannoniennes carpato-dinariques ; crues océaniques classiques ; crues de type Europe centrale ; crues causées par les embâcles de glace fluviales.

Dans la première moitié du Danube supérieur, jusqu'à la confluence avec l'Inn, les crues se produisent le plus fréquemment au printemps et au début de l'été, bien que la probabilité d'une crue reste également relativement forte pendant les autres saisons de l'année. La période de la moindre fréquence se situe en septembre et en octobre.

Après la confluence avec l'Inn et aussi dans la partie hongroise du Danube moyen, jusqu'à la confluence avec la Drave, la répartition saisonnière des crues accuse une pointe très nette en été, entre les mois de juin et d'août, avec un sommet au mois de juillet. Les crues dans cette partie du bassin sont généralement conditionnées par les ondes de crues de l'Inn auxquelles s'ajoutent celles de Traun et de l'Enns.

Étant donné la précocité de la fonte des neiges, les affluents du Danube moyen en provenance de moyenne montagne, comme la Morava, la Raba ou le Vah, évacuent leurs crues annuelles le plus souvent dès le mois de mars ou d'avril, et de ce fait n'augmentent

pratiquement en rien la pointe de crue du Danube supérieur. Cependant, lorsque plusieurs de ces ondes de crue arrivent en même temps, comme c'était le cas pendant l'été de l'année 1926, elles peuvent se superposer sur le Danube moyen, et y provoquer une crue importante.

Principalement en raison de la différence de pente entre les profils du Danube supérieur et du Danube moyen les ondes de crues sont moins importantes sur le Danube moyen, avec des hauteurs d'eaux et une vitesse de propagations plus faibles.

Les trois grands affluents de la seconde moitié du Danube moyen - Drave, Tisza et Save – ont une influence importante sur le régime des crues de ce tronçon. Les hautes eaux maximales des trois rivières arrivent à peu près simultanément, au printemps, aux mois de mars et d'avril, et se superposent à un débit important du Danube. L'onde de crue estivale du Danube supérieur est moins ressentie ici, étant donné les apports peu élevés que reçoit cette partie du fleuve, en particulier de la Tisza et de la Save.

Les pluies méditerranéennes des mois de novembre et décembre provoquent souvent des crues en fin d'automne sur la Save et la Drave. Combinées avec les apports balkaniques, celles-ci peuvent donner naissance à une crue secondaire du Danube, se propageant vers l'aval à partir de Belgrade.

L'influence du stockage des plaines d'inondation du Bas Danube se fait sentir de plus en plus à partir des Portes de Fer et les ondes de crues du Danube subissent une diminution appréciable. Seuls les affluents Siret et Prut peuvent encore provoquer une dernière augmentation des débits de crue du fleuve, mais l'importance de celle-ci est limitée, étant donné la proximité du delta.

Au fil du temps, des crues historiques ont frappé le Danube. Les plus remarquables du dernier millénaire, souvent désignées comme cataclysmiques, ont eu lieu en 1342, 1501, 1787, 1838, 1897, 1899, 1915, 1917, 1919 (Ionescu-Dobrogeanu, 1909 ; Parde et al., 1928 ; CED, 1931; Ritter, 1976 ; Sommerwerk et al. 2009). Au cours de l'histoire plus récente on doit mentionner les crues de 1941, 1954, 1965, 1970, 2002, 2005, 2006, 2009, 2010, 2013, 2014 (Guttler, 2012 ; ICPDR, 2017).

Ces crues, même celles qui ont marqué l'histoire du Danube, ne sont véritablement extrêmes que sur certains tronçons du fleuve. En effet, les maxima tendent ainsi à s'aplatir vers l'aval par stockage dans la plaine alluviale (Parde et al., 1967). Un exemple est donné par la crue de 1899, dont le débit de 10 400 m³/s enregistré à Vienne est tombé à 7 800 m³/s à Budapest. Ce type d'événement est particulièrement courant lors des crues du Danube supérieur ou à proximité des principaux confluent. Les grandes crues observées sur le cours moyen et inférieur du Danube sont en général plus complexes puisqu'elles combinent des apports d'origine hétérogènes, venant des régions distinctes du bassin versant.

Les étiages

Le caractère variable et la surface importante du bassin versant conditionnent les débits d'étiage du Danube, qui ne se produisent pas simultanément dans tous les secteurs du fleuve. Comme dans le cas des crues, les étiages à l'embouchure précèdent généralement ceux

de Passau de presque exactement trois mois : c'est ainsi que les cotes minimales du plan d'eau du parcours autrichien sont relevées en décembre, alors que les plus bas niveaux d'étiage de la région de l'embouchure se manifestent dès septembre. Seuls les débits minimaux absolus coïncident dans le temps sur l'ensemble du cours du Danube, car liés à un ensemble de conditions météorologiques et pédologiques jouant sur la longue durée.

A l'amont de Passau le Danube reçoit à la fois des affluents de la montagne et de la plaine, dont les influences alternent lorsque le fleuve est en régime d'étiage. Jusqu'à la confluence avec la Lech, rivière descendue des hautes Alpes, les niveaux d'eau les plus bas se produisent le plus souvent au mois d'octobre. A l'aval la période des basses eaux a lieu en décembre, puis, aux confluences de l'Altmühl, Naab, et Regen, l'influence des étiages d'automne de ces affluents provenant des bassins de moyenne altitude redevient prépondérante.

A partir de la confluence avec l'Inn et jusqu'à la confluence avec la Tisza la période moyenne d'étiage du Danube se situe au mois de décembre. Ce fait montre l'influence prépondérante des étiages hivernaux alpestres autrichiens que même les apports relativement abondants de la Drave en novembre et en décembre ne parviennent à compenser. Après l'arrivée de la Tisza, rivière avec des caractéristiques d'un fleuve de plaine, et de la Save, la période d'étiage du Danube se situe en fin d'été, en septembre - octobre.

La répartition saisonnière des débits est la même sur l'ensemble du Bas Danube, des Portes de Fer jusqu'à l'embouchure en mer Noire : la période des débits minimaux se situe en septembre et octobre, avec une deuxième période de faibles débits, mais moins accentuée, en janvier et février.

En dehors du régime d'étiage normal on observe également des débits d'étiage exceptionnellement faibles, dont la durée prolongée ou l'intensité sont les résultats de conditions météorologiques particulières comme une sécheresse prolongée pendant les mois d'automne 1947, ou un hiver particulièrement long et froid en 1953/1954, pendant lequel l'ensemble des précipitations est tombé sous forme de neige. Les valeurs minimales absolues pour le Danube correspondent à la grande année de sécheresse 1921 avec un débit à l'entrée du delta de 1 790 m³/s (Kresser & Laszloffy, 1964).

2.1.4 L'aménagement du fleuve

La vallée du Danube a une très longue histoire d'occupation humaine dont les origines remontent au Paléolithique (\approx 25 000 BP), les premiers établissements pérennes datant d'environ 8 500 BP (Sommerwerk et al., 2009). Axe de pénétration pour la néolithisation vers l'ouest du continent, le rôle du Danube a été multiple et variable dans le temps : voie de migration, voie de commerce, ligne de défense militaire, frontière naturelle, source d'approvisionnement, d'hydroélectricité, ou d'irrigation.

Les premiers travaux sur le chenal navigable du cours autrichien remontent aux XIV^{ème} et XV^{ème} siècles. A partir du XV^{ème} siècle sur le secteur hongrois avait commencé la lutte contre les inondations. Au cours du XVIII^{ème} siècle, les rapides de Grein, sur le

secteur autrichien, ont été améliorés pour la navigation, et vers la fin de ce même siècle les premières digues ont été construites sur le Danube moyen afin de favoriser la mise en valeur agricole de la plaine (Tricart & Bravard, 1991).

Ces premières ruptures localisées avec la mise en valeur traditionnelle ont été les prémices d'un mouvement beaucoup plus large d'aménagement qui s'est véritablement enclenché au XIX^{ème} siècle. Dès lors, plusieurs catégories de travaux sont réalisées sur le Danube.

La protection des villes contre les crues est opérée le plus souvent par endiguement et rehaussement des levées naturelles.

La **régularisation** du fleuve et la suppression d'obstacles afin de faciliter la **navigation** et éviter la formation de barrages de glace se fait par des travaux de recouplement de méandres et d'obstruction de bras secondaires, de construction de digues longitudinales et d'épis transversaux.

La mise en valeur agricole est effectuée à travers l'endiguement de vastes superficies dans la zone inondable du fleuve. La mise en valeur agricole du lit majeur du Danube, initiée à la fin du XVIII^{ème} siècle est devenue systématique sur le Danube moyen à partir de 1820. Ritter (1976) indique que le programme de mise en valeur de la plaine pannonienne avait réussi, vers l'année 1900, à mettre à l'abri des crues 1,1 et 2,2 millions d'hectares sur le Danube et la Tizza au moyen de 2 000 km et 2 900 km de digues.

En même temps que certaines portions du Danube inférieur commençaient à être endiguées pour l'agriculture, le secteur supérieur du fleuve devenait l'objet d'un nouveau type de mise en valeur : les travaux de **construction de barrages et de retenues**. Sur le Danube et ses affluents, ces travaux ont démarré après la Première Guerre mondiale, mais la construction des grands ouvrages danubiens n'a en fait démarré qu'après la Deuxième Guerre mondiale (Tricart & Bravard, 1991).

Le premier ouvrage d'envergure alliant production hydroélectrique et amélioration des conditions de navigation sur le Danube a été réalisé par l'Allemagne entre 1922 et 1927 avec la construction du barrage de Passau-Kachlet, situé à environ 5 km en amont du confluent de l'Inn. Parmi les nombreux projets d'aménagement du Danube de ce type on retiendra trois grands ouvrages : deux grandes centrales hydroélectriques, Portes de Fer I, achevée en 1972, et Portes de Fer II, mise en service en 1984, établis par la Serbie (ancienne Yougoslavie) et la Roumanie, et l'aménagement hungaro-slovaque de Gabčíkovo-Nagymaros, réalisé entre 1977 et 1992 avec comme objectifs de réduire les risques d'inondation, d'améliorer la navigation et de produire de l'électricité.

2.1.5 Fonctionnement sédimentaire

D'un point de vue géologique, le bassin versant du Danube a une composition variée. Sur la partie occidentale du bassin, les reliefs appartiennent majoritairement à des massifs anciens comme celui de la Forêt Noire, Forêt de Bavière ou Forêt de Bohême. Les Alpes centrales sont principalement composées de massifs cristallins, tandis que le calcaire constitue

une grande partie des Préalpes slovènes et certaines portions des Préalpes austro-allemandes. Des dépôts détritiques de flysch sont présents également dans les Préalpes allemandes et s'étendent sur les contreforts des arcs carpatique et balkanique. La chaîne centrale des Carpates et certaines portions des Balkans, sont formées de roches cristallines, alors que les Alpes dinariques sont à dominante calcaire (Brilly, 2010 ; Sommerwerk et al., 2009). Plus d'un tiers du bassin du Danube est par ailleurs recouvert par des terrains lössiques (Garnier et al., 2002).

Comme pour la plupart des cours d'eau, le débit solide du Danube comprend, d'une part, des matériaux de charriage de fond et d'autre part des matériaux transportés en suspension, auxquels il faut ajouter les matières en solution.

Pris dans son ensemble, le transport des matériaux par charriage ne semble jouer un rôle important que dans le cours supérieur du Danube, car à l'aval de Bratislava, à cause de la rupture de pente du fleuve (Fig.2.3), des dépôts massifs de matériaux sont enregistrés. Mais alors que la charge grossière (charriage) diminue jusqu'à atteindre une valeur insignifiante, en revanche la charge en suspension augmente entre Vienne et les Portes de Fer (Fig.2.8). Dans la partie aval du cours du Danube, seul le débit en suspension semble jouer un rôle important.

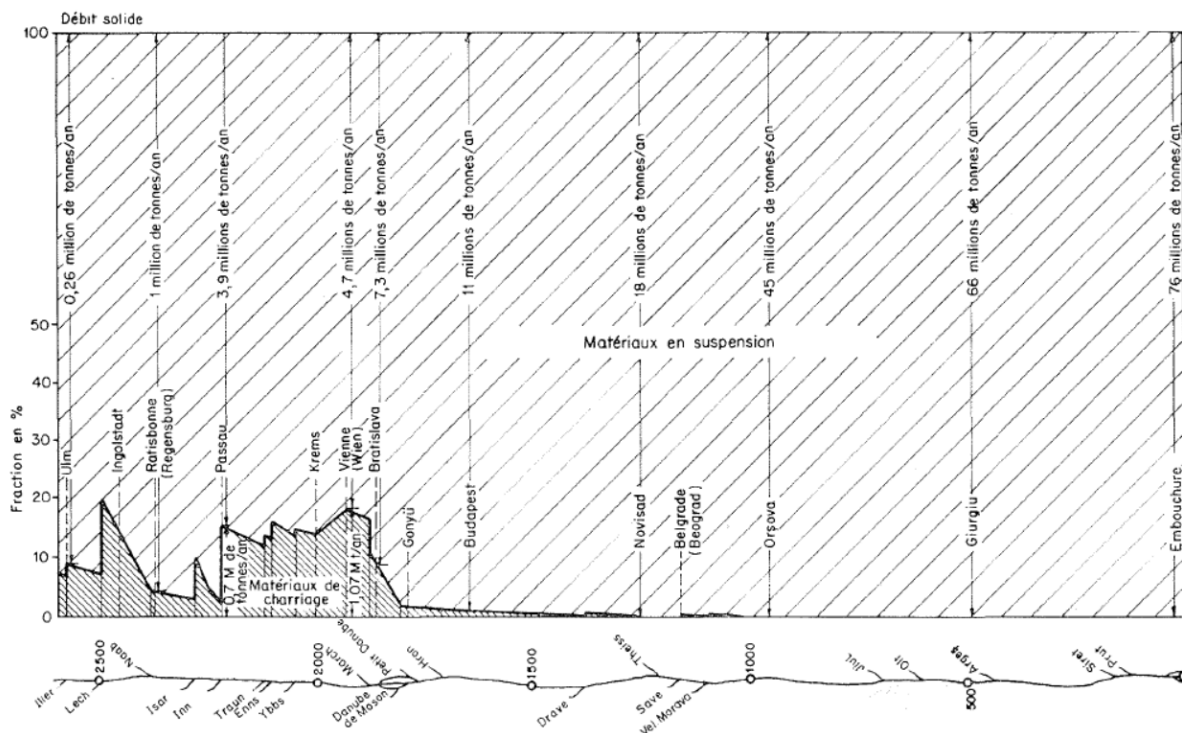


Fig.2.8 La charge sédimentaire du Danube

Source : Kresser & Laszloffy, 1964

Le régime sédimentaire du Danube a été considérablement perturbé et impacté (Fig.2.9) par le grand nombre d'aménagements hydrauliques qui ont été construits sur le cours principal de la rivière et sur ses affluents (Kraus-Kalveit and Pannonhalmi, 2001).

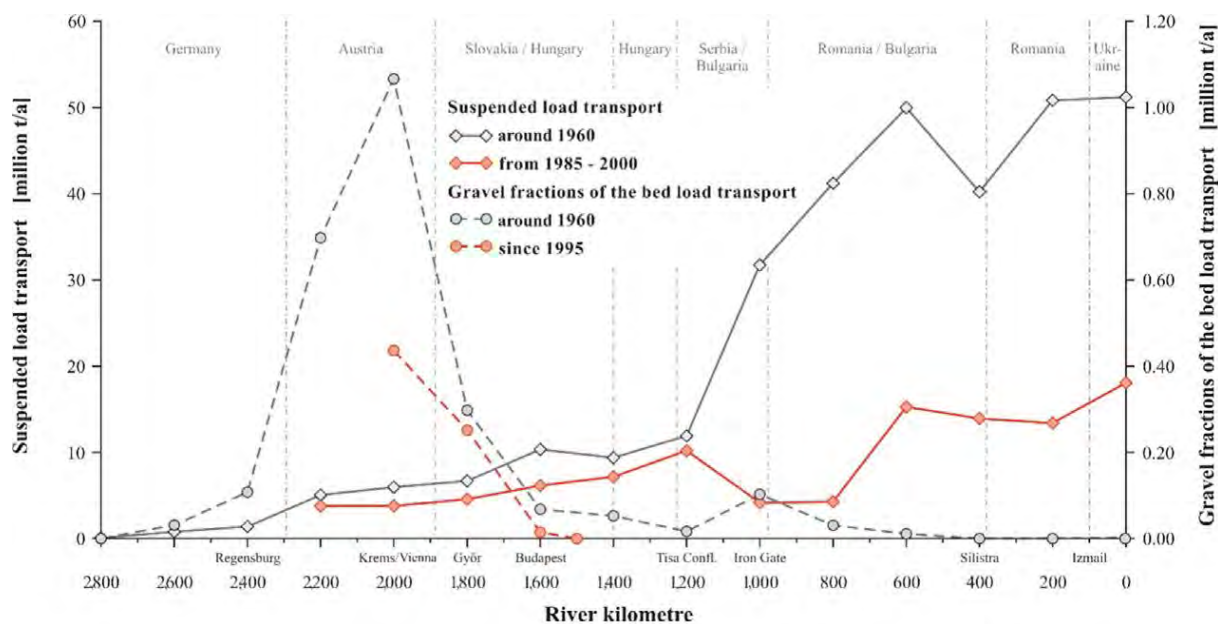


Fig.2.9 Modification de la charge sédimentaire du Danube entre 1960 et après 1985
 Source : Habersack et al., 2015

Il existe 700 constructions hydrauliques de plus de 15 m de hauteur seulement sur le Danube, dont 156 sont des grands barrages hydroélectriques (Sommerwerk et al., 2010). Le débit solide de charriage a été réduit sur le Danube supérieur à une très petite fraction, le dixième, voire le vingtième de ses valeurs des années 1960. Le barrage des Portes de Fer, qui a été construit dans les années 1970, piège environ deux tiers des sédiments en suspension qui auraient normalement transité par le Danube et auraient été déposés dans les Deltas du Danube et le long de la mer Noire (Sommerwerk et al., 2010). D'autres auteurs considèrent que le barrage des Portes de Fer retient seulement 30 à 40% des sédiments en suspension (Panin & Jipa, 2002).

Des estimations variées existent pour les sédiments transportés par le Danube. La quantité estimée des sédiments qui arrivaient dans le delta avant les grands aménagements diffère selon les auteurs, avec des valeurs comprises entre 76 millions de t/an (Kresser & Laszloffy, 1964) et 67,5 millions t/an (Bondar & Bledea, 2000 ; Panin & Jipa, 2002) ou encore 51,7 millions t/an (Panin, 2003, 2011). Aujourd'hui, la quantité moyenne de sédiments qui arrivent à l'apex du delta est estimée à 67-80 millions de t/an (Domokos et al., 2000), 58,4 millions de t/an (Bondar & Stiucă, 1996), 35-40 millions de t/an (Panin, 2003, 2011), 29,2 millions de t/an (Bondar, 2004a) ou encore à 25-35 millions de t/an (Panin & Jipa, 2002). Des moyennes pour différents intervalles de temps sont proposées également avec des valeurs de 51,7 millions t/an, valeur moyenne calculée pour l'intervalle 1858-1988 (Malciu, 2000), ou bien 30 millions de t/an pour la période 1981-1990 (Loczy, 2007).

2.2 Le delta du Danube

Le delta du Danube s'étend approximativement sur 100 km du nord au sud et 80 km de l'ouest à l'est (Gastescu & Stiuca, 2008), avec une pente très faible d'environ 0,004‰. Il couvre actuellement une surface de 4150 km², dont 3510 km² (environ 82%) sur le territoire de la Roumanie et 745 km² (environ 18 %) en Ukraine, le Bras Chilia constituant la frontière entre les deux pays. Il est ainsi un des 25 plus grands deltas mondiaux et le second à l'échelle européenne derrière la Volga.

La partie roumaine du delta du Danube a été classée au patrimoine mondial de l'humanité de l'UNESCO pour sa biodiversité en 1991. La surface totale de la Réserve de la Biosphère Delta du Danube est de 5 800 km², car elle intègre aussi une plaine d'inondation située en rive droite avant l'apex du delta, ainsi que le complexe lagunaire Razelm-Sinoe, localisé au sud du delta. Le delta ukrainien, qui ne fait pas l'objet de cette thèse, n'est devenu réserve de biosphère qu'en 1998 et encore de façon partielle (environ 500 km²).

2.2.1 La géologie du delta du Danube

Le delta du Danube est situé dans la dépression pré-dobrogéenne, sur le rebord de la plate-forme scythique (Fig.2.10). La limite entre l'orogène nord-dobrogéen et le territoire du delta du Danube est marquée par la zone de fracture Sf. Gheorghe, qui influence la morphologie et l'évolution du cours du Danube dans le secteur de Galați et l'embouchure du bras Sf. Gheorghe (Mutihac, 1990).

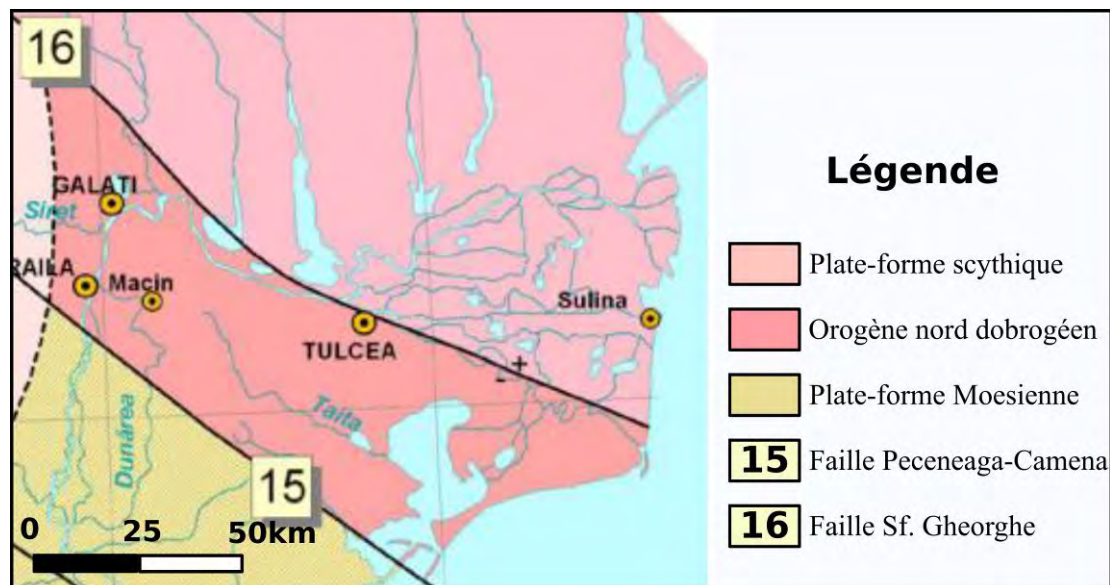


Fig.2.10 – Carte géologique montrant l'emplacement du delta du Danube par rapport aux unités structurales majeures de la région,

Source : Enciu, 2010

Le remplissage de la dépression pré-dobrogéenne consiste en six cycles sédimentaires (Paléozoïque, Triasique inférieur, Triasique moyen-supérieur, Jurassique, Crétacé inférieur et Sarmatian- Pliocène) d'une épaisseur considérable (Patrut et al., 1983).

L'édification du delta du Danube actuel s'est faite au cours du Pléistocène Supérieur et de l'Holocène, en plusieurs phases de progradation et de récession, caractérisées par la formation de lobes successifs liés à des changements de cours du fleuve. Son développement a été contrôlé par plusieurs facteurs : l'apport sédimentaire du fleuve, l'effet des vents du nord et des courants marins du sud et l'importante influence de l'énergie des vagues (Panin, 1989).

L'édifice du delta du Danube est formé par une séquence de dépôts détritiques épais de 300-400 mètres (Liteanu & Pricăjan, 1963). Ces dépôts sédimentaires ont été déposés pendant le Pléistocène (Panin, 2003). Durant cette période, les variations du niveau de la mer Noire ont influencé l'évolution du delta, mais il n'existe à ce jour aucun modèle d'évolution intégrée terre-mer permettant une analyse de la relation entre incision sur la plateforme et sédimentation continentale.

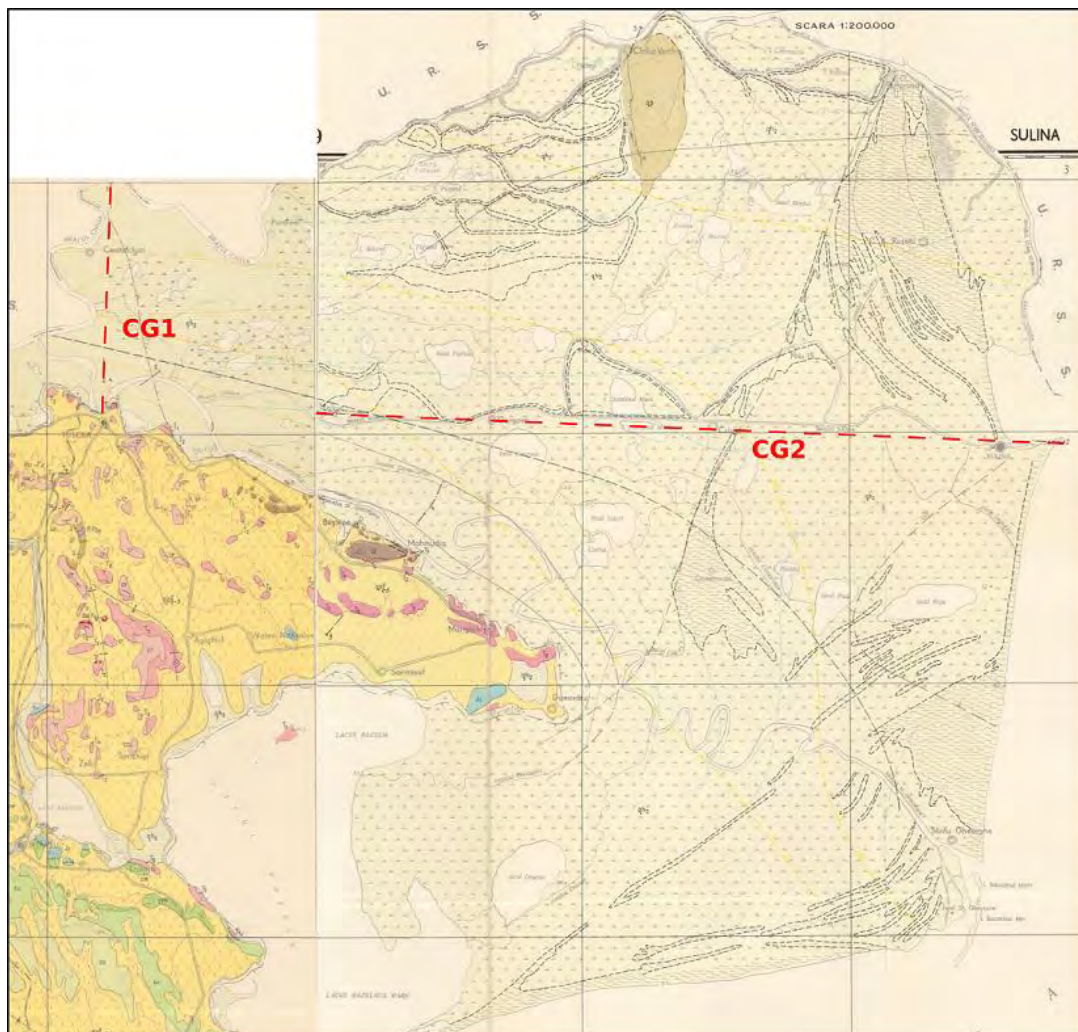


Fig.2.11 Extrait des cartes géologiques 1 : 200 000 avec l'emplacement des coupes géologiques en pointillées rouge (CG1, CG2)

Source : l'Institut géologique roumain, 1966, 1967

Les cartes géologiques à l'échelle 1 : 200 000 (feuilles L-XXIX-Tulcea et L-XXX-Sulina), publiées par l'Institut géologique roumain en 1966 et 1967 (Fig.2.11) nous montrent en surface des dépôts composés par des limons et sables (qh2), datant de l'Holocène Supérieur. Seule la Ride Chilia (qp), située au nord du delta dans sa partie médiane, est constituée par des dépôts de loess datant du Pléistocène. Dans la moitié de l'est on retrouve des dépôts de sable d'origine marine, tandis que le reste du delta est constitué par des dépôts fluviaux des régions marécageuses.

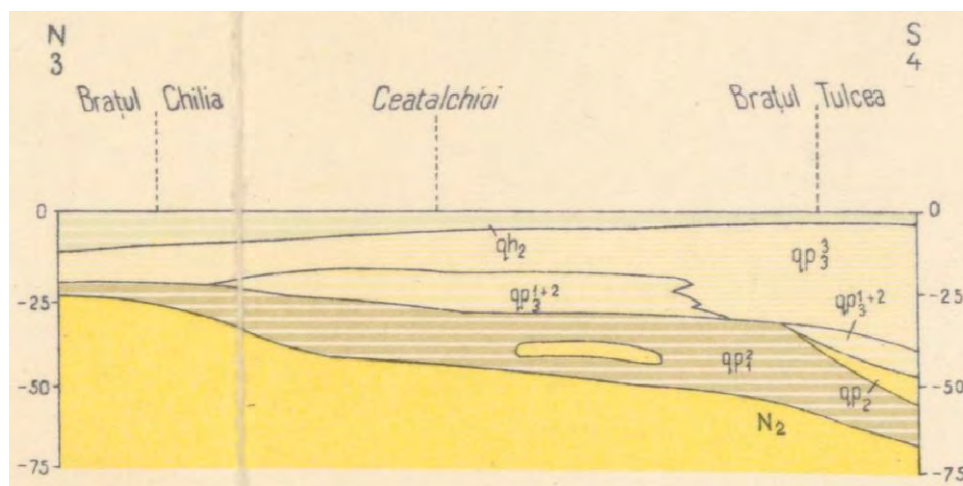


Fig.2.12 Coupe Géologique (CG1) Nord-Sud Bras Chilia – Bras Tulcea
Source : l'Institut géologique roumain, 1966

Une première coupe géologique CG1 (Fig.2.12) orientée nord-sud, réalisée entre les bras Chilia et Tulcea, à proximité de l'apex du delta, montre la succession sédimentaire suivante : à la base les dépôts (N2) d'argiles et sables datant du Pliocène ; puis les dépôts de sables et limons (qp2/1) du Pléistocène Inférieur avec des intercalations argileuses (qp2) du Pléistocène Moyen ; ensuite des sables et limons (qp1/3+2 et qp3/3) datant du Pléistocène Supérieur ; pour arriver en surface aux dépôts de limons et sables (qh2) de l'Holocène Supérieur.

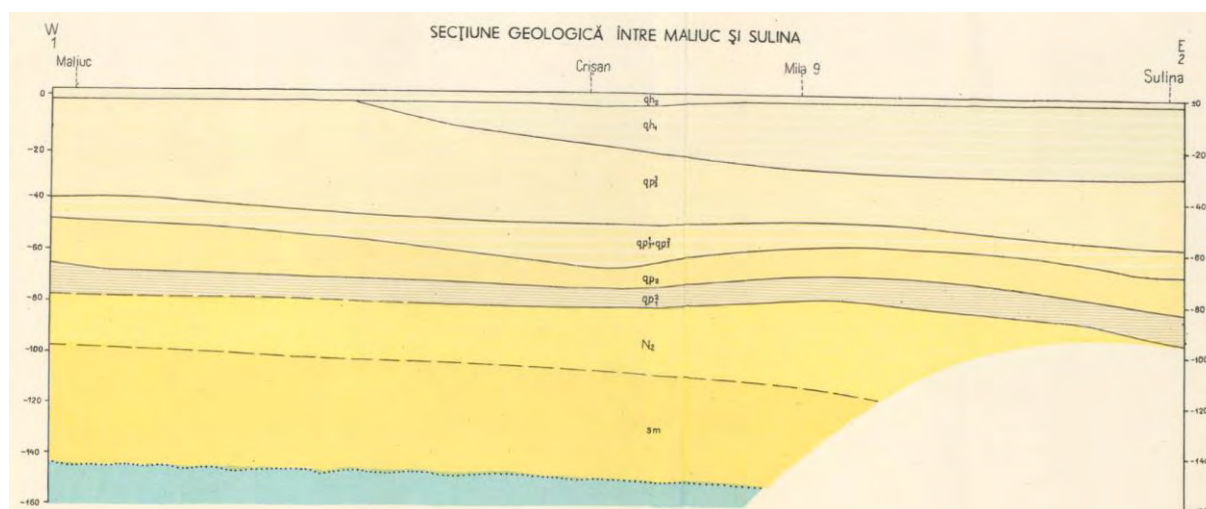


Fig.2.13 Coupe Géologique (CG2) Ouest-Est Maliuc – Sulina
Source : l'Institut géologique roumain, 1967

La deuxième coupe géologique (CG2), orientée ouest-est, réalisée dans la partie médiane du delta du Danube nous montre la succession sédimentaire suivante (Fig.2.13) : à la base des calcaires, argiles et sables (Sm) datant du Miocène, puis des argiles et sables (N2) datant du Pliocène ; suivent ensuite sables et graviers (qp2/1) du Pléistocène Inferieur, argiles et sables (qp2) du Pléistocène Moyen, sables, graviers et argiles (qp1/3+qp2/3) du Pléistocène Moyen et Supérieur, limons et argiles (qp3/3) du Pléistocène Supérieur, sables et limons (qh1) du Holocène Inferieur et enfin, sables et limons (qh2) de l'Holocène Supérieur.

2.2.2 Organisation morphologique et sédimentaire

Le delta du Danube peut être divisé en trois grands systèmes de dépôt (Fig.2.14) : la plaine du delta, d'une superficie totale d'environ 5 800 km², dont 1 800 km² de plaine marine ; le front du delta, d'une superficie d'environ 1 300 km², est divisé en plate-forme de front delta (800 km²) et talus de front delta (environ 500 km²) et s'étend au large par une profondeur de 30-40 m ; le prodelta est située au large, au pied du front du delta jusqu'à des profondeurs de 50-60 m, et couvre une superficie dépassant 6 000 km² (Panin, 1989). Outre le système sédimentaire, le système de cônes en eau profonde du Danube se trouve au large de la Roumanie, de la Bulgarie et de l'Ukraine dans le nord-ouest de la mer Noire et s'étend de plusieurs centaines de mètres de profondeur à la plaine abyssale, à plus de 2 200 mètres.

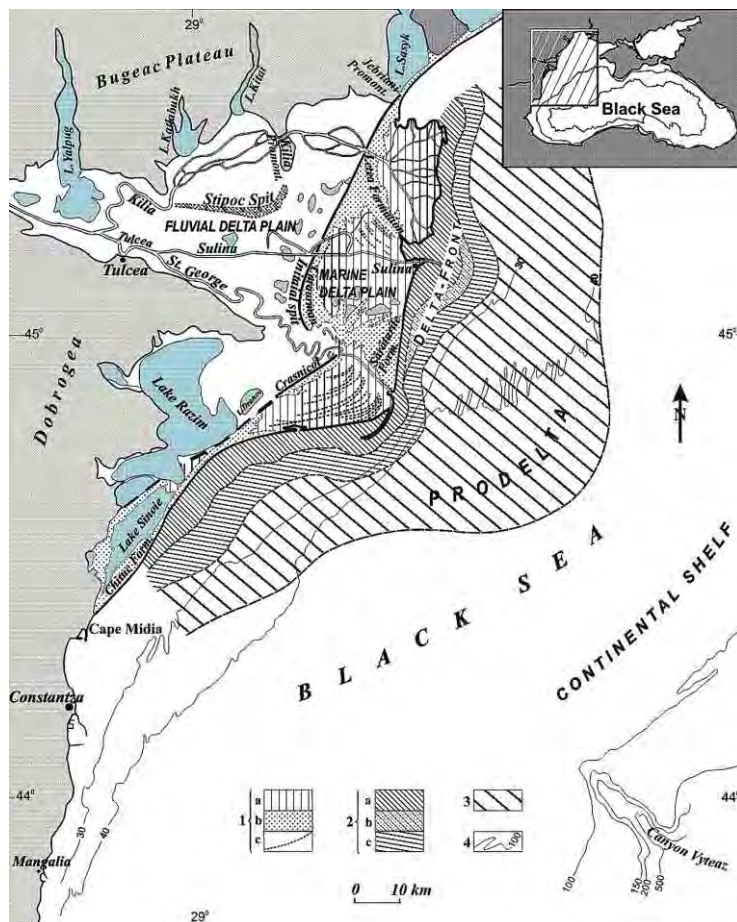


Fig.2.14 Les unités morphologiques et sédimentaires du delta du Danube

Source : Panin et al., 2007

La plaine deltaïque est la partie exondée du delta et peut être divisée en deux sous-parties : la partie fluviale et la partie marine ou fluviomarine. La partie fluviale de la plaine deltaïque est comprise entre l'apex du delta et les rides Letea, Carraorman et Carsnicol. Cette partie « amont » est constituée par des levées fluviales, méandres, dépressions inter-distributaires et un dense réseau de chenaux. La partie fluviomarine de la plaine deltaïque est située à l'est de la partie fluviale et jusqu'à la côte de la mer Noire. Cette partie est composée de cordons littoraux sableux fossiles, isolés (Crasnicol) ou regroupées (Letea, Carraorman, Saraturile).

Le front du delta naît d'une plate-forme immergée continuée par un talus qui descend jusqu'à 30-40 m de profondeur dans la mer Noire. Dans cette zone le fleuve dépose une bonne partie de sa charge, les sédiments les plus grossiers, généralement sableux, qui peuvent former des barres d'embouchure, comme c'est le cas du Bras Sulina.

Le prodelta, la partie la plus externe et profonde du delta, poursuit le front du delta jusqu'à des profondeurs de 50-60m. Cette zone échappe à l'action des vagues et elle est formée par le dépôt des sédiments les plus fins issus de la décantation des apports fluviaux.

A ces unités sédimentaires s'ajoute l'éventail profond du Danube qui va jusqu'à la plaine abyssale de la mer Noire (Panin, 1989).

Un facteur important à prendre en compte dans la formation des deltas est **leur subsidence**. Un bassin deltaïque résulte de la superposition de couches sédimentaires importantes avec des épaisseurs qui atteignent des centaines de mètres. La subsidence peut être liée à des mouvements tectoniques, mais le plus souvent elle est due, au moins partiellement, à la sédimentation (Allen & Mercier, 1987). Les deltas se construisent, en partie, sur eux-mêmes et l'enfoncement progressif du bassin de réception joue souvent un rôle important dans la progradation, la progression de certaines zones aux dépens d'autres pouvant être guidée par ce phénomène.

Le delta du Danube est situé sur une zone mobile de la croûte terrestre qui a subi à plusieurs reprises des subsidences, depuis au moins le Jurassique, liées à des mouvements tectoniques, ainsi qu'à l'accumulation des sédiments (Panin, 1999). L'épaisseur des sédiments pléistocènes suggère une poursuite de ce phénomène durant toute la période. Aujourd'hui, bien que cette question reste largement débattue (Vespremeanu-Stroe et al, 2017), les vitesses de subsidence pourraient atteindre 1,5 à 1,8 mm/an (Bondar, 1989).

L'ensemble de la région de la Dobrogea est caractérisé par des mouvements de subsidence, mais ces mouvements sont plus intenses dans la région côtière (Polonic et al., 1999). Si dans le sud de la région, la subsidence est estimée à 1 mm/an, dans la partie septentrionale, sur le territoire du delta du Danube, elle dépasse 2 mm/an. Plus au nord du delta, dans la région d'embouchure de la rivière Dniestr la subsidence est encore plus importante, estimée à 5 mm/an (Dimitriu & Sava, 2007).

Comme c'est le cas à l'embouchure d'autres fleuves dans le monde (Mississippi, Nil, Orénoque, Niger, etc) il existe aussi des ressources en hydrocarbures à l'embouchure du

Danube. La Roumanie a commencé l'exploration de ses eaux en 1976, et l'extraction du gaz et pétrole dans son périmètre de la mer Noire en 1987. Actuellement il y a 7 plateformes d'extraction, et environ 20 millions de m³ de gaz et pétrole confondus sont extraits chaque année. D'importantes ressources de gaz, estimées à 200 milliards m³ ont été récemment découvertes (Matei, 2018). Une loi « offshore » (Loi nr. 256/2018) a été votée par le parlement roumain fin 2018 pour règlementer l'exploitation de ces ressources, et des extractions sont envisagées dans le future proche sur 11 nouveaux périmètres dans la mer. On estime qu'entre 6 et 10 milliards de m³ pourraient être extraits par an. Cette explosion dans l'extraction des hydrocarbures en mer Noire, à proximité du delta du Danube va sûrement amplifier les processus de subduction de cette région comme c'est déjà le cas pour d'autres deltas du monde (Syvitski et al., 2009).

Pour le delta du Danube le cas est encore plus complexe, car aux causes tectoniques, aux mouvements de subsidence et à la transgression marine holocène s'ajoute aussi la question de la connexion de la mer Noire avec la mer Méditerranée, sujet abordé sur une longue période de temps et encore largement débattu (Ross et al. 1970, Ryan et al. 1997, Ryan & Pitman, 1998, Ryan et al. 2003, Hiscott et al. 2007, Yanko-Hombach et al. 2007, Lericolais et al., 2009, Soulet et al. 2011, Carozza et al., 2012, Carozza et al., 2013, Lister et al. 2015, Aksu et al. 2016, Yanchilina et al. 2017, Williams et al., 2018).

2.2.3 Le réseau hydrographique

L'entrée dans le delta est marquée par la première diffluence majeure du cours d'eau. Il est ainsi classique de situer l'apex du delta à la division des diffluents de Chilia au nord et de Tulcea au sud (Fig.2.15), point nommé « Ceatal Izmail » ou « Ceatal Chilia ». Izmail est le nom d'une ville située en Ukraine, une ancienne forteresse ottomane, un peu plus en aval sur la rive gauche du Bras Chilia. Le mot « ceatal » est un mot d'origine turque qui signifie « fourchette ».

Le Bras Tulcea, avec une longueur de 17 km, se divise à son tour à Ceatal Sfantul Gheorghe en Bras Sulina, le bras central du delta, et Bras Sfantul Gheorghe (Sf. Gheorghe) au sud. Ainsi le réseau hydrographique du delta comprend trois distributeurs principaux : au nord le Bras Chilia, au centre le Bras Sulina et au sud le Bras Sf. Gheorghe.

Le Bras Chilia est le plus important parmi les bras du delta, tant par sa longueur de 117 km, que par son débit qui écoule environ 60% des eaux du Danube. Il a construit à son embouchure un delta secondaire lobé d'une superficie totale de plus de 24 000 ha., d'une largeur entre 250 et 1 000 m et d'une profondeur maximale de 39 m.



Fig.2.15 Les rides (en noir) et les unités hydrographiques (en bleu) du delta du Danube
Fond de carte : AMCO Press Delta du Danube - carte touristique, 2000

Les plus importants distributeurs qui alimentent le delta à partir du Bras Chilia sont : le Canal Mila 35,7 en rive droite à 82,2 km de l'embouchure, le Canal Stipoc en rive droite à 81 km de l'embouchure, le Canal Pardina en rive droite à 48 km de l'embouchure, le Canal Sasik en rive gauche à 28 km de l'embouchure et le Canal Sulimanca en rive droite à 26 km de l'embouchure. Dans le lobe deltaïque formé à l'embouchure du Bras Chilia, les principaux distributeurs sont Oceacov et Bastroe en rive gauche.

Le Bras Tulcea, avec une profondeur comprise entre 10 et 34 m et une largeur de 200 à 700 m, a un distributeur en rive gauche, le Canal Mila 35, situé à 35,7 miles de l'embouchure du Bras Sulina. Les distances en miles pour le Bras Tulcea ainsi que pour le Bras Sulina ont été introduites par la CED au XIXème siècle au moment des aménagements faits pour la navigation et ont été gardées jusqu'à nos jours.

Le Bras Sulina, aujourd'hui long de 71,7 km, avec 8 km de digues qui le prolongent dans la mer Noire, écoule 18-19% des eaux du Danube. Le rescindement des méandres suite aux travaux de la CED (1868-1902) a raccourci ce linéaire de 24%, soit de 83,8 km à 63,7 km (CED, 1931). Les travaux réalisés pour la navigation ont affecté également la profondeur du bras, qui passe d'une profondeur d'environ 2,5 m en 1857 à 9,5 à 18 m, pour une largeur comprise entre 120 m et 250 m aujourd'hui.

Les grands distributeurs qui partent dans le delta du Bras Sulina sont : le Canal Papadia en rive gauche à 31,4 miles de l'embouchure, le Canal Maliuc en rive gauche à 27 miles de l'embouchure, le Canal Gorgova en rive gauche à 22 miles d'embouchure, le Canal Caraorman en rive droite à 14 miles de l'embouchure, le Canal Vatafu en rive droite à 7 miles de l'embouchure, le Canal Busurca en rive droite à 2 miles de l'embouchure, le Canal Cardon en rive gauche à 0,8 miles de l'embouchure et le Canal Pescarie en rive droite à 0,15 miles de l'embouchure.

Le Bras Sf. Gheorghe, dont la longueur initiale de 108,8 km a été raccourcie entre 1981 et 1992 de 36 km, transporte la partie restante de 21-22% des eaux du Danube. Il a une largeur variable de 150 à 550 m et une profondeur comprise entre 3 et 27 m (Bondar, 2004).

Les plus importants distributeurs alimentant le delta à partir du Bras Sf. Gheorghe sont : le Canal Litcov en rive gauche à 99 km de l'embouchure, le Canal Uzlina en rive gauche à 68,2 km de l'embouchure, le Canal Dunavat en rive droite à 54,1 km de l'embouchure, le Canal Perivolovca en rive gauche à 54,7 km de l'embouchure, le Canal Dranov en rive droite à 44,3 km de l'embouchure, le Canal Erenciuc en rive gauche à 23 km de l'embouchure, le Canal Crasnicol en rive droite à 19,8 km de l'embouchure et le Canal Tataru en rive gauche à 6 km de l'embouchure.

2.2.4 Les eaux souterraines

La distribution des eaux souterraines, nappes phréatiques et nappes captives, dépend de la tectonique et de la lithologie du substrat, de la lithologie des dépôts deltaïques, de la configuration morphologique et hydrographique de la surface, des conditions climatiques et du régime hydrologique du Danube (Branzan et al, 2008). A tous ces facteurs s'ajoutent, surtout pour les nappes phréatiques, les travaux d'aménagement (endiguements, dessèchements) liés à la création de fermes agricoles et piscicoles et d'aménagements forestiers sur de grandes surfaces.

Des forages descendant jusqu'à 200 m de profondeur ont mis en évidence des nappes captives sous pression avec une minéralisation importante, comprise entre 18-23 g/l et 50-55 g/l dans les zones d'étude de Chilia Veche, Periprava, Crisan et Sf. Gheorghe. Ce type de nappes est répandu quasiment dans la totalité du territoire deltaïque et est en fait une nappe semi-captive, alimentée par les eaux du Danube dans la zone de contact avec l'orogène nord-dobrogéen, à travers des couches plus perméables constituées par des sables. L'épaisseur de ces nappes est de 15 à 20 m dans la partie centrale du delta, tandis que dans l'ouest du

territoire elles ne dépassent pas 15 m et vers l'est elles arrivent jusqu'à 40 m d'épaisseur. La minéralisation de la nappe varie aussi à travers le territoire du delta. Elle est plus faible à l'ouest de l'alignement Tatanir (situé sur le Bras Chilia)-Murighiol (localisé sur le Bras Sf. Gheorghe), avec une concentration maximale dans la zone de la Ride Letea. Cette nappe semi-captive présente aussi un très faible mouvement sur une direction générale d'écoulement de l'ouest vers l'est. Les nappes phréatiques ont un rapport intime avec la morphologie du delta du Danube, et leur niveau varie en fonction de la profondeur et du régime hydrologique du Danube.

Dans les rides d'origine fluviale qui bordent les bras du Danube les nappes phréatiques sont moins minéralisées et potentiellement potables. Avec l'éloignement des trois distributaires principaux, à plus de 500 m, les eaux des nappes deviennent plus indépendantes des eaux du Danube et plus minéralisées.

Dans les rides d'origine marine, surtout Letea et Caraorman, la présence des sables favorise la circulation des eaux des nappes de surface mais aussi la minéralisation, avec une concentration plus importante en sel, liée au processus d'évapotranspiration. Les nappes phréatiques sont situées dans les régions de Letea et Caraorman à des profondeurs comprises entre 0,5 et 4 m, sur les rides Chilia et Stipoc à 2-3 m de profondeur, tandis que dans le reste du territoire elles sont assez proches de la surface.

La minéralisation des nappes phréatiques varie beaucoup sur l'ensemble du delta, avec des concentrations situées entre moins de 1g/l et jusqu'à 60 g/l dans la zone des rides Letea, Caraorman, mais aussi Chilia et Stipoc.

Les travaux d'aménagement dans le delta ont isolé sur de grandes surfaces les nappes phréatiques des rythmes saisonniers d'inondations qui ont donc gagné une certaine indépendance par rapport au Danube. On note que dans les polders agricoles le niveau des nappes phréatiques est tombé à 3 m de profondeur, et que dans les aménagements forestiers il se trouve à 5 m de profondeur (Branzan et al, 2008).

2.2.5 Les rides du delta

Le delta du Danube est compartimenté par les grands bras et canaux mais aussi par de nombreuses rides.

La Ride Chilia, une des plus grandes rides du delta, se situe au nord du delta, en position centrale, et représente un prolongement de la plateforme de lœss située au nord du delta. La ride a une orientation nord-sud et c'est la seule ride lœssique du delta. L'altitude maximale de 9,4 m est atteinte au nord de la ride.

La Ride Stipoc est une ride de sable, située toujours dans la partie nord du delta et qui s'étend d'un méandre du Bras Chilia jusqu'au sud de la Ride Chilia, avec une orientation générale ouest-est et une altitude maximale de 3,8 m dans sa partie médiane.

Toujours dans cette partie nord du delta, un peu plus à l'est dans l'île de Letea, nous retrouvons la plus grande ride du delta, la Ride Letea. C'est une ride de sable ayant l'aspect d'un éventail, avec le point d'appui situé au nord, sur le Bras Chilia, et l'ouverture vers le sud et l'est, jusqu'au Bras Sulina et la mer Noire. La partie sud de cette ride a un aspect digité et la plupart de ces digitations ont aussi des noms, comme les rides Raducu, Ichim, Pocora, Schiopu et Sulina, pour donner les plus grandes. L'altitude maximale de cette ride est de 12,4 m, correspondant à une dune de sable localisée dans la partie centrale-nord.

Dans la prolongation de la Ride Raducu, coupée par l'ancien cours du Bras Sulina, se trouve la Ride Ceamurlia, avec une orientation générale nord-sud, qui est aussi coupée par le nouveau cours du Bras Sulina, et qui fait la liaison avec La Ride Caraorman.

La Ride Caraorman, une autre grande ride de sable du delta, est située dans l'île de Sf. Gheorghe et elle a le même aspect d'éventail que la Ride Letea. Son point d'appui se trouve vers le nord, sur le Bras Sulina, et ses digitations vers le sud et sud-est. Cette ride est la deuxième plus grande ride du delta, avec une altitude de 7 m, atteinte dans la partie centrale-sud.

Plus à l'est de la Ride Caraorman nous retrouvons des rides plus petites comme Lumina, Rosu, Ivancea ou Cerbului, et une autre grande ride, la Ride Saraturile. D'abord on rencontre la Ride Lumina, une ride avec une orientation nord-sud, qui passe entre les lacs Puiulet à l'ouest et Lumina et Puiu à l'est. La Ride Rosu, avec une orientation nord-est sud-ouest, passe entre les lacs Puiul à l'ouest et Rosu à l'est. Au sud du Lac Rosu il y a la Ride Ivancea, formation qui fait la liaison entre la côte de la mer Noire à l'est et le Bras Sf. Gheorghie au sud-ouest.

La Ride Saraturile est située au nord de l'embouchure du Bras Sf. Gheorghie, entre la côte de la mer Noire à l'est et le Bras Sf. Gheorghie au sud et sud-ouest. Cette ride semble avoir la même forme d'éventail que les rides Letea et Caraorman, mais avec une orientation différente. Le point d'appui serait situé vers l'est, actuellement érodé par la mer, et les digitations sont orientées vers le sud-ouest. Dans la configuration actuelle la ride a une altitude maximale de 2,2 m.

Au Sud du Bras Sf. Gheorghie, dans l'île de Dranov, nous ne retrouvons que de petites rides, qui semblent être dans le prolongement de certaines rides situées au nord du bras, comme la Ride Crasnicol, située en prolongation de la Ride Ivancea, ou les rides Frasin, Plopilor et Palade, en prolongation de la Ride Saraturile. Un peu plus au sud, dans l'île de Dranov, il existe des rides parallèles avec la côte de la mer, avec une orientation générale est-ouest, comme Danila, Cu trestie ou Crucea. A l'extrémité sud de cette région se trouve la Ride Perisor, qui suit la côte de la mer avec une orientation est-ouest.

2.2.6 L'organisation du delta

Une première organisation du delta assez empirique a été proposée en tenant compte juste des bras principaux du Danube depuis au moins la première moitié du XIX siècle sur la carte générale de la province de Bessarabie de 1821 (Fig.2.16).



Fig.2.16 Carte générale de la province de Bessarabie, 1821 (extrait)

Source : Library of Congress

Selon cette organisation, le delta est divisé en trois grandes « îles » : l'île de Letea, représentant le territoire situé entre le Bras Chilia au nord et le Bras Sulina au sud, l'île de Sf. Gheorghe au centre, situé entre le Bras Sulina au nord et le Bras Sf. Gheorghe au sud, et l'île de Dranov localisée au sud du Bras Sf. Gheorghe. Ce découpage du delta a été adopté par la Commission européenne du Danube sur ses cartes à partir de 1856 et il est encore utilisé dans une certaine mesure aujourd'hui.

Les trois bras du Danube et les grandes rides du delta partagent le territoire en plusieurs parties. Dans l'île de Letea on trouve les unités de Sireasa, Sontea-Fortuna, Pardina et Matita-Merhei. L'île Sf. Gheorghe abrite les unités de Gorgova-Uzlina et Rosu-Puiu. L'île de Dranov correspond en totalité à l'unité Dunavat-Dranov (Fig.2.11).

En tenant compte du réseau des distributaires et des grandes rides existant sur le territoire, le delta est divisé en plusieurs unités, nommées selon les auteurs : complexes lacustres (Gastescu, 1971 ; Driga, 2004), dépressions (Cotet, 1971), complexes aquatiques (Oostemberg et al., 2000) ou unités hydrographiques (ICPDD, 1997 ; Bondar & Panin, 2001).

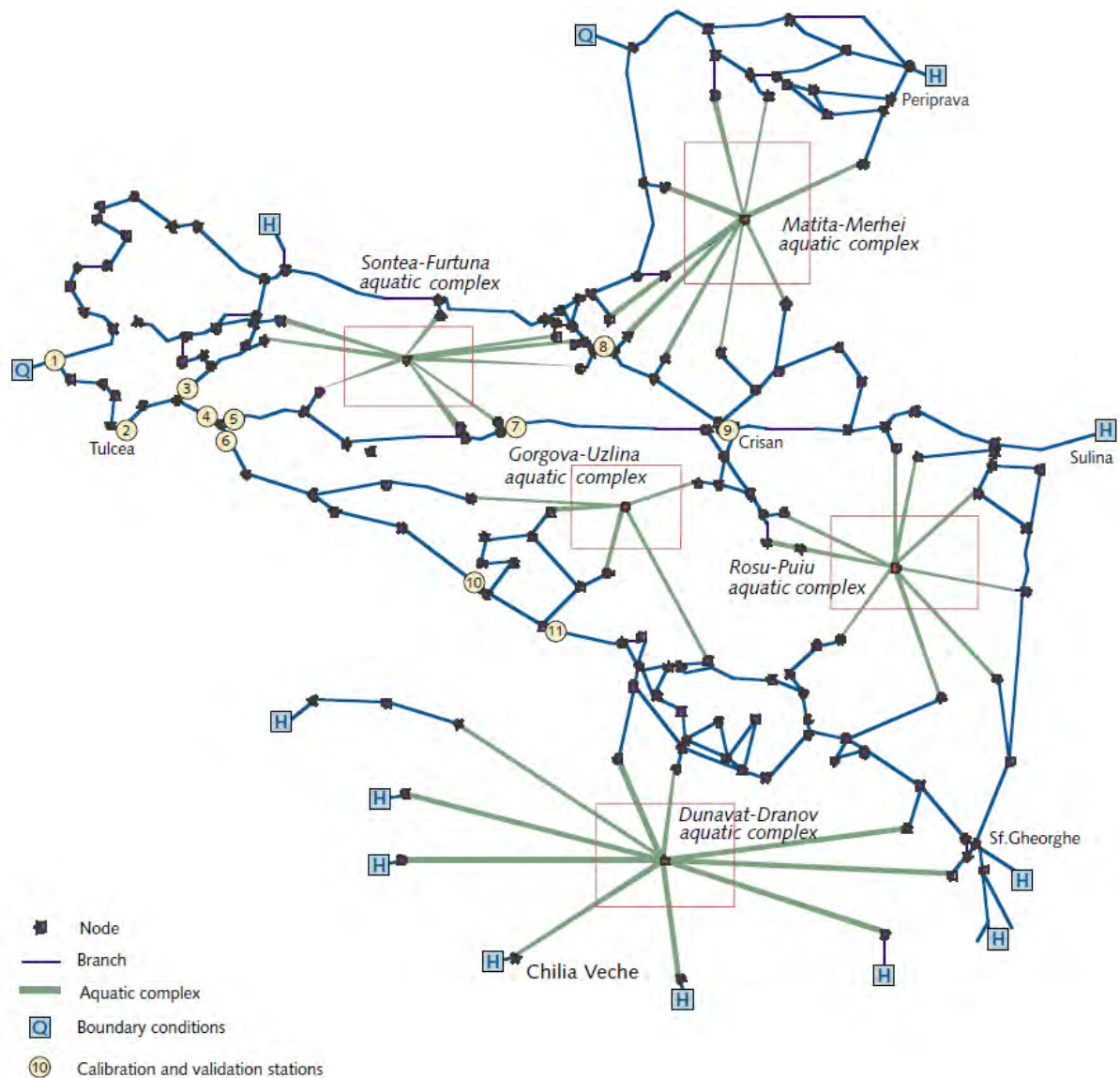


Fig.2.17 Modèle hydrologique global du delta du Danube actuel
 Source : Oosterberg et al., 2000

Le modèle du delta actuel (Fig. 2.17) élaboré par Oosterberg et ses collaborateurs ne prend pas en compte les grandes surfaces comme Pardina et Sireasa, qui ont été isolées du reste du delta par des digues pour une utilisation agricole, et présentant donc aujourd'hui un régime d'alimentation en eau contrôlé. A cette organisation du delta (Fig. 2.13) échappe aussi en grande partie le Bras Chilia, avec ses îles, ainsi que le lobe deltaïque situé à l'embouchure du ce bras. Ce modèle nous propose 5 complexes aquatiques : Sontea – Furtuna, Matita-Merhei, Gorgova-Uzlina, Rosu-Puiu et Dunavat-Dranov, avec les points d'entrée des eaux (Q) et d'évacuation (H).

D'autres auteurs (Bondar & Panin, 2001) nous proposent un modèle du delta composé d'unités hydrographiques (Fig.2.18) assez similaires avec le précédent, mais ils prennent en compte aussi la région de Pardina comme une unité à part, ainsi que la région de Sireasa, qui intègre le complexe Sontea-Fortuna.

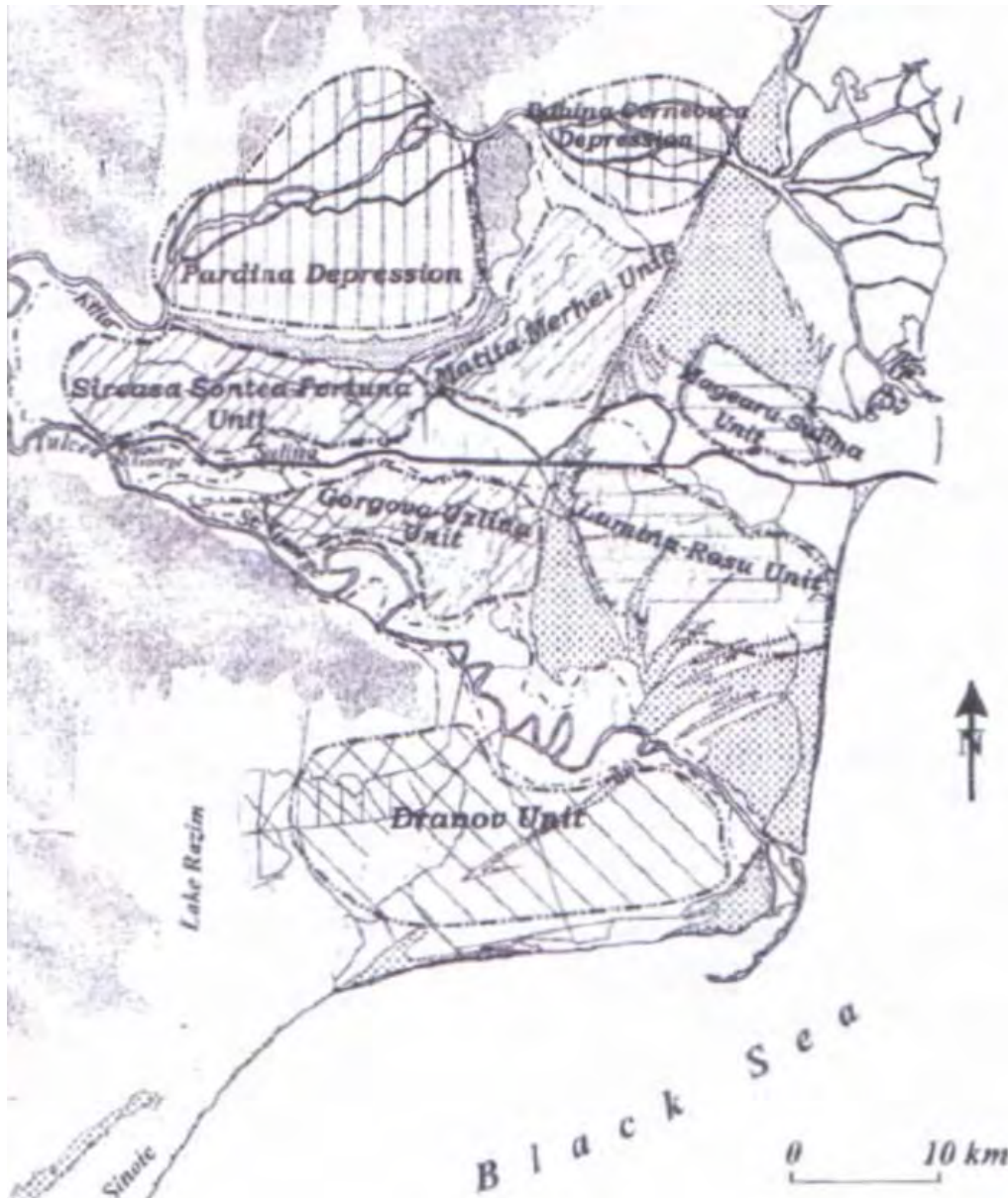


Fig.2.18 Les unités hydrographiques du delta du Danube

Source : Bondar & Panin, 2001

Bondar et Panin nous proposent aussi de nouvelles entités aquatiques comme Babina-Cernevoara, située dans la partie centrale du Bras Chilia, et Magearu-Sulina, localisée au nord et au niveau de l'embouchure du Bras Sulina. Le lobe deltaïque situé à l'embouchure du Bras Chilia n'est pas non plus intégré à ce modèle. C'est peut-être une question politique, cette partie du delta appartenant à l'Ukraine.

L'unité Pardina, située au nord du delta, est délimitée à l'ouest et au nord par le Bras Chilia, à l'est par la Ride Chilia et au sud par la Ride Stipoc. L'unité porte le nom du canal principal qui traverse la région d'ouest en est. C'est aujourd'hui une région complètement transformée en polder agricole. Seuls les canaux Pardina, Ceamurlia, Gotca et Repedea ont survécu aux aménagements. Dans le passé, cette région abritait beaucoup de lacs, dont parmi les plus grands : Tatomir (6,3 km²), Baciou (4,1 km²), Tigaiu Mare (3,5 km²).

L'unité Sireasa, située à l'ouest du delta, est délimitée à l'ouest et au nord par le Bras Chilia et au sud et à l'est par l'unité Sontea-Fortuna. L'unité porte le nom du canal principal qui drainait la région, canal disparu aujourd'hui car cette région a fait l'objet d'aménagements agricoles. Parmi les lacs existants dans le passé on mentionne Baciú (0,84 km²), Corciovata (0,72 km²) et Simion (0,62 km²).

L'unité Matita-Merhei, située à l'est de la Ride Chilia et de l'unité Sontea-Fortuna et à l'ouest de la Ride Letea, est limitée au nord par le Bras Chilia et au sud par le Bras Sulina. Cette unité est traversée par un grand canal ancien, Lopatna, et porte le nom de deux grands lacs Matita (6,25 km²) et Merhei (10,5 km²).

L'unité Sontea-Fortuna est localisée au sud des unités Sireasa et Pardina et au nord du Bras Sulina. Cette unité est délimitée à l'ouest par les bras Tulcea et Chilia et à l'est par un méandre du Bras Sulina et par le Canal Catavaia, canal qui la sépare de l'unité Matita-Merhei. Cette unité porte le nom d'un vieux canal du delta, le Canal Sontea et du plus grand lac de la région, le Lac Fortuna (9,1 km²).

L'unité Magearu-Sulina est située dans la partie fluvio-marine du delta et se caractérise par de nombreuses rides d'origine marine qui délimitent des dépressions. Les principaux lacs sont Raducu et Raduculet et, parmi les canaux, les plus importants sont le Canal Magearu, ancien distributeur du lobe de Sulina et le Canal Cardon.

L'unité Gorgova-Uzlina est située au sud du Bras Sulina, au nord du Bras Sf. Gheorghe et à l'ouest de la Ride Caraorman. Cette unité est traversée d'ouest en est par le Canal Licov, et porte les noms des deux grands lacs Gorgova (12,9 km²) et Uzlina (4,4 km²), un autre grand lac situé dans cette région étant celui d'Isac (10,1 km²).

L'unité Rosu-Puiu est située à l'ouest de la Ride Caraorman, au sud du Bras Sulina et au nord du Bras Sf. Gheorghe et de la Ride Saraturile. Cette unité est délimitée à l'est par la mer Noire et porte les noms de deux grands lacs, Rosu (13,3 km²) et Puiu (8,25 km²), un troisième grand lac dans la même région étant Lumina (8,8 km²).

L'unité Dunavat-Dranov, située au sud du Bras Sf. Gheorghe est délimitée à l'ouest par le Lac Razim et au sud par la mer Noire. Le nom de l'unité est donné par le Canal Dunavat, qui fait la liaison entre le Bras Sf. Gheorghe et le Lac Razim, et les noms du seul grand lac de la région, le Lac Dranov (20,5 km²) et d'un autre grand canal qui traverse la région, le Canal Dranov.

D'après Gastescu (1973), la séparation des différentes unités est basée sur l'association des lacs dans des complexes lacustres, complexes situés dans des régions dépressionnaires du delta. Driga (2004) précise que la différence entre les sous-unités du delta a été faite aussi sur des critères morphologiques, lithologiques, hydrologiques et paysagers. La principale différence identifiée (Gastescu, 1973) entre les complexes du delta fluvial et le delta fluvio-maritime (Rosu-Puiu) est la connectivité avec le Danube. Si les lacs situés dans le delta fluvial sont en liaison permanente avec les bras du delta, les lacs de la partie maritime sont plus isolés et communiquent moins avec les eaux du Danube. Ils ont aussi une

morphologie distincte, les lacs sont en général allongés, avec des orientations différentes, à cause de leur emplacement entre les dunes de sables de différentes rides composant cette partie.

2.2.7 Régime fluvial

La moyenne des débits mensuels nous fournit un module brut Q de $6\,500\text{ m}^3/\text{s}$ pour le Danube à l'entrée de son delta. La période des hautes eaux se place de mars à juillet et la période des basses eaux d'août à février. Les débits moyens les plus abondants surviennent au mois de mai, tandis que le mois d'octobre marque les plus basses eaux. Les débits journaliers extrêmes pour la période étudiée sont de $1\,790\text{ m}^3/\text{s}$ le 25 octobre 1947 et de $15\,900\text{ m}^3/\text{s}$ les 25 et 26 avril 2006.

Les eaux du Danube ont tendance à baisser rapidement à partir du mois de juillet, les prélèvements croissants par évapotranspiration contribuant à réduire les débits qui sont souvent très faibles en fin d'été et en début d'automne. La remontée des débits après la saison chaude est provoquée par des pluies automnales abondantes, qui concernent surtout les affluents du cours moyen et inférieur. Ces pluies sont souvent à l'origine d'importantes et de fréquentes inondations entraînant de dégâts sur les cours inférieurs.

Lors des hivers froids on enregistre la formation de glace sur le Danube. La durée moyenne de la glace en dérive est de 30 à 40 jours, habituellement entre la mi-décembre et le début de février. En moyenne, la première glace sur l'eau est enregistrée le 15 novembre et la dernière le 15 avril (Loczy, 2007). Durant les hivers très froids le phénomène de pont de glace peut apparaître à différents endroits du Danube (Fig.2.19).



a. Port de Sulina – hiver 1928-1929
Source : CED, 1931



b. Port de Tulcea – hiver 2016-2017
Photo : R. Groparu

Fig.2.19 Le Danube englacé

En raison d'une variabilité interannuelle importante (Fig.2.20), la variation moyenne des débits dans l'année n'est pas vérifiée systématiquement, et l'on peut constater périodiquement des mois d'avril et de mai peu abondants ($< 5\,000\text{ m}^3/\text{s}$), tout comme des mois d'hiver aux forts débits moyens ($> 9\,000\text{ m}^3/\text{s}$).

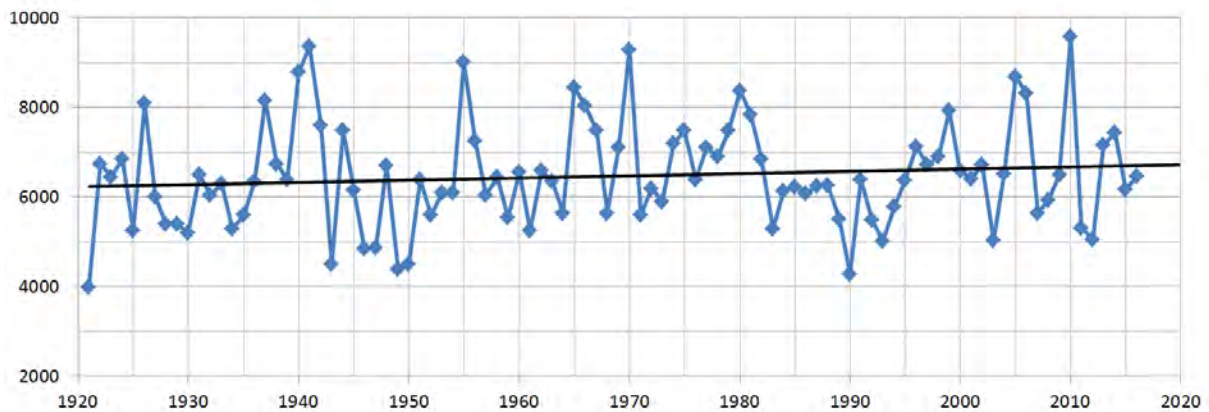


Fig.2.20 Variation du débit moyen annuel du Danube (1921-2016) à l'apex du delta
 Le trait noir correspond à la courbe de tendances calculée pour la période 1921-2020
 Source des données : Administration du bassin hydrographique Dobrogea - Litoral

Ces variations sont en grande partie liées aux régimes hétérogènes et relativement indépendants que connaissent les principaux affluents du Danube, et plus globalement aux influences météorologiques qui sont variables à l'échelle du bassin et discordantes dans le temps. Des variations de l'ordre de 3 000 m³/s sur le débit annuel ne sont pas rares entre deux années consécutives. L'amplitude maximale sur l'ensemble de la période analysée est de 5 347 m³/s, soit la différence entre les volumes respectivement évacués en 1941 (9 370 m³/s) et en 1921 (4 023 m³/s). La régression linéaire calculée sur 90 années de mesure suggère une croissance des volumes annuels de l'ordre de 6,3 m³/s. Mikhailova et al. (2012), en étudiant plusieurs stations hydrologiques le long du Danube (certaines avec des données remontant jusqu'aux années 1840), affirment que le débit du fleuve a commencé à croître depuis les années 1910-1920, avec une intensification à partir des années 1970. Les auteurs défendent l'hypothèse que cette augmentation est essentiellement liée à l'élévation à la fois des températures moyennes et, dans une moindre mesure, des précipitations au sein du bassin danubien. Ils indiquent également que le gonflement des débits de crue serait à l'origine de cette augmentation des volumes liquides sur le long terme, et que les débits maxima (printemps-été) des dernières décennies surviennent en moyenne 10-15 jours plus tôt que lors des années précédentes. Enfin, les mêmes auteurs pointent une fréquence accrue des phénomènes extrêmes, comme les crues pluviales et les crues printanières-estivales, mais aussi des périodes de basses eaux prolongées.

Les Crues

Contrairement aux hautes eaux, qui sont des phénomènes saisonniers relativement réguliers, les crues sont des phénomènes extrêmes brefs et irréguliers, produits par des écoulements excessifs comme des pluies ou une fonte nivale accélérée.

Les analyses des débits maximaux enregistrés sur le Bas-Danube, à la station Drobeta Turnu Severin, située à l'entrée du Danube en Roumanie, ainsi qu'à la station Ceatalul Chilia, localisée à l'entrée du delta, font apparaître que la plus grande fréquence d'apparition des débits maximaux est en avril et en mai (Niculescu, 2009).

Il y a des témoignages concernant les crues redoutables au fil des siècles. Les années caractéristiques des niveaux maximaux des crues ont été 1895 (13 700 m³/s), 1940 (14 000 m³/s), 1942 (14 880 m³/s), 1970 (15 540 m³/s), 1980 (14 600 m³/s), 1981 (14 100 m³/s), 1985 (13 300 m³/s), 2005 (14 400 m³/s), 2006 (15 900 m³/s), 2010 (15 500 m³/s).

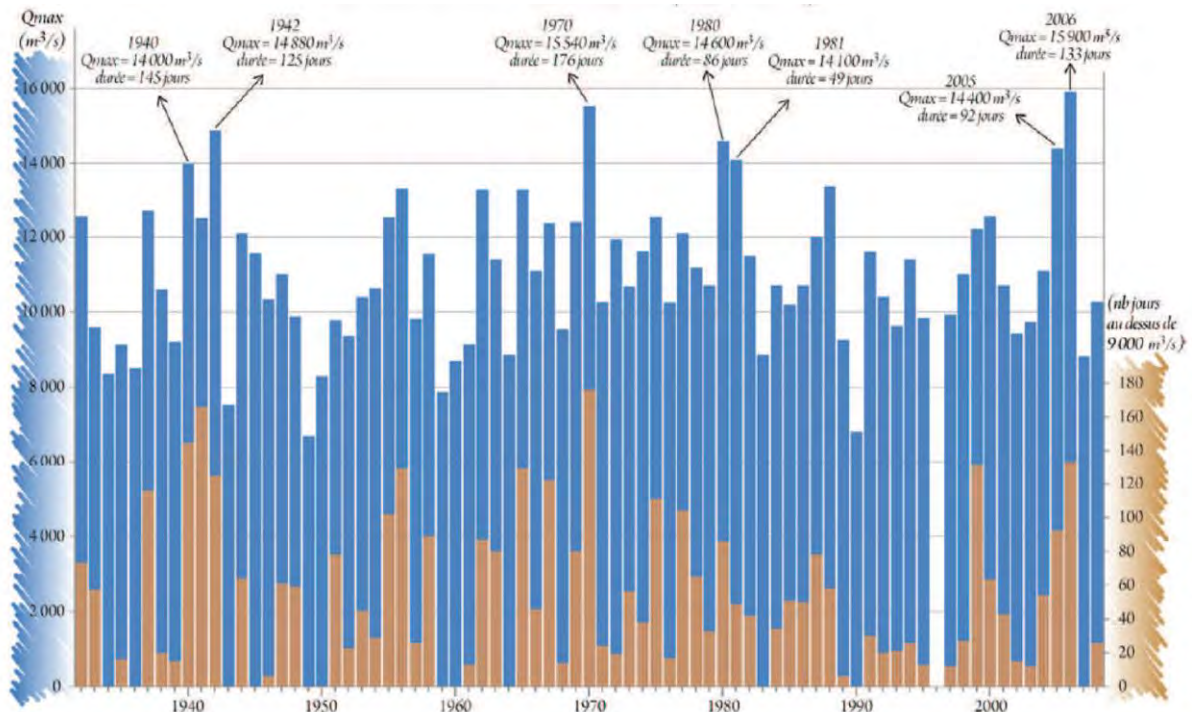


Fig.2.21 Crues du Danube à l'apex du delta pour la période 1932-2008

Source : Guttler, 2012

Une étude ayant comme but de mieux saisir l'ampleur, la périodicité et la durée des crues atteignant le delta du Danube (Guttler, 2012) montre que le Danube déborde de son lit mineur à Ceatal Izmail, l'apex du delta, environ 6 années sur 7. Sur la période de temps analysée (1938-2008) et sur les 76 maxima annuels, seulement 11 ont été inférieurs au débit de plein bord correspondant à 9 000 m³/s (Fig.2.21). Les plus fortes crues du Danube à Ceatal Izmail ont également présenté des durées relativement longues. Parmi les sept crues ayant atteint un débit égal ou supérieur à 14 000 m³/s (1940, 1942, 1970, 1980, 1981, 2005, 2006), seule celle de 1981 a été accompagnée d'une durée d'inondation relativement faible (49 jours), alors que la durée des six autres fortes crues a varié entre 86 et 176 jours.

Les plus fortes crues du Danube dans le delta ont également présenté des durées relativement longues. Parmi les huit crues ayant atteint un débit égal ou supérieur à 14 000 m³/s (1940, 1942, 1970, 1980, 1981, 2005, 2006 et 2010), seulement celle de 1981 a été accompagnée d'une durée d'inondation assez faible, de seulement 49 jours. La durée des autres grandes crues a varié entre 86 et 176 jours. De plus, ces événements majeurs s'insèrent dans le contexte saisonnier des crues printanières du Danube, avec les débits de pointe ayant été atteints entre le 31 mars et le 1er juin, à l'exception de la crue de 2010, dont le débit de pointe a été atteint fin juin – début juillet. Une analyse élargie à l'ensemble des maxima annuels (Guttler, 2012), met en évidence qu'environ 73 % ont été enregistrés lors des mois de

printemps, contre 16,2 % en hiver, 9,5 % en été et seulement 1,3 %, soit un événement unique, en automne.

Les étiages

Un étiage peut être défini comme une baisse du niveau de l'eau particulièrement accentuée, la courbe de débits descendant assez progressivement (Touchard, 2003). Les étiages sont des phénomènes plus complexes à décrire et leur genèse particulièrement longue les rend difficiles à identifier (Lang & Delus, 2011).

Pour identifier les étiages, différents débits caractéristiques sont utilisés (Fig.2.22), comme le DC 90%, le DC 95% ou le DCE (Laganier & Arnaud-Fassetta, 2009 ; Lang Delus, 2011). Les débits caractéristiques DC 90% et DC 95% sont des débits fréquentiels indiquant les valeurs en m^3/s dépassées lors de 90% des jours mesurés, pour le DC 90%, ou lors de 95 %, pour le DC 95%. Le DCE, débit caractéristique d'étiage, correspond au débit égal ou non dépassé 10 jours par an. En termes de pourcentage le DCE correspond à un débit fréquentiel d'environ 97,3%.

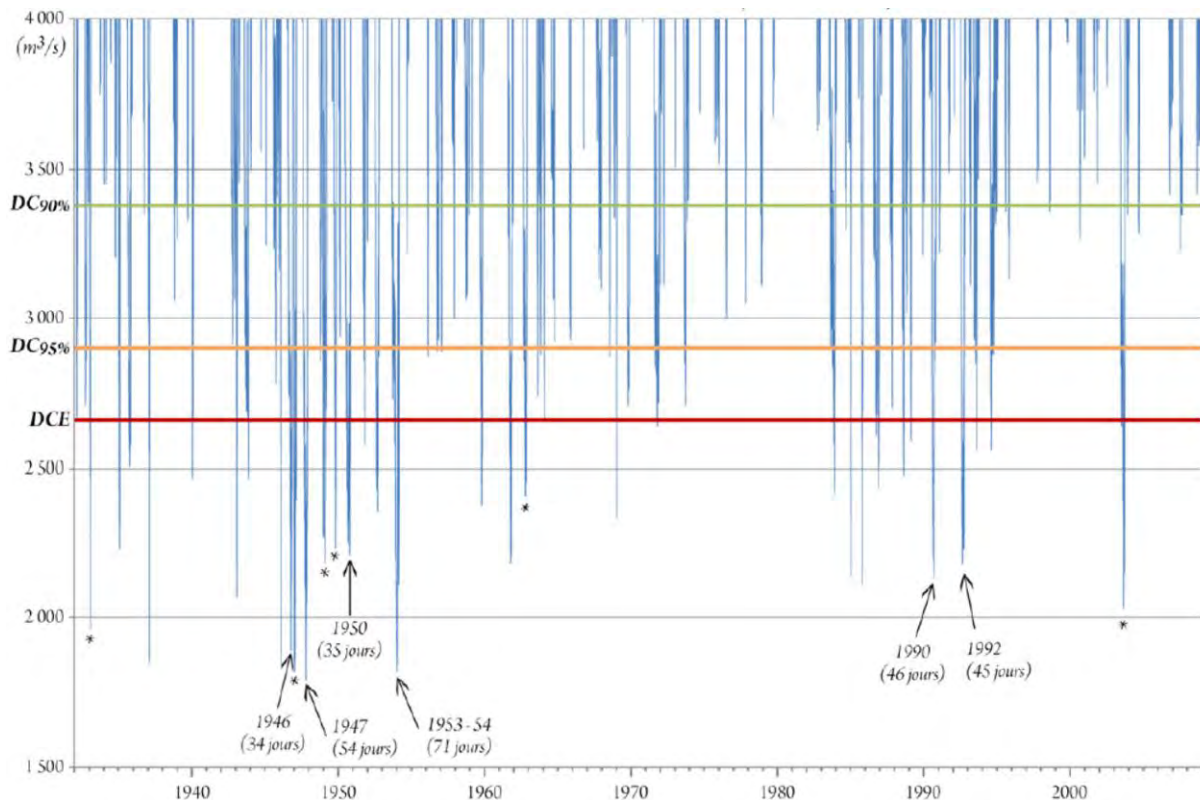


Fig.2.22 Les étiages du Danube à l'apex du delta pour la période 1932-2008

Source : Guttler, 2012

Pour le Danube à Ceatal Izmail le DC 90% a une valeur de $3\,380\ m^3/s$, le DC 95% une valeur de $2\,900\ m^3/s$ et le DCE une valeur de $2\,660\ m^3/s$. A partir de ces trois débits caractéristiques, trois seuillages ont été effectués afin d'identifier les événements susceptibles de représenter des étiages sur le Danube (Gutter, 2012). Le DC 90% a permis de sélectionner 82 événements, ce seuil étant évidemment peu sévère étant donné que la série temporelle ne

comprend que 76 années (1932-2008). Sur ces 82 événements, 47 ont franchi le seuil déterminé par DC 95%, et 34 ont dépassé le seuil fixé par le DCE. Pour estimer la sévérité de ces derniers 34 événements les plus extrêmes leur durée a été calculée. Seulement 12 événements ont présenté des débits journaliers inférieurs au DCE sur une durée supérieure à deux semaines. 6 événements ont été exceptionnellement longs et ont affiché des débits inférieurs au DCE pendant plus de 30 jours (1946, 1947, 1950, 1953-54, 1990, 1992) avec des durées comprises entre 34 jours consécutifs pour 1946 et 71 jours pour 1953-1954.

Concernant la distribution temporelle des événements ayant franchi le seuil DCE on observe que 19 se sont déroulés en automne, soit 56% et 15 événements en hiver, soit 44%. Pour les 12 événements d'une durée supérieure à deux semaines, 8 se sont manifestés en automne, soit 67%, et 4 en hiver, soit 33%. Parmi les 6 étiages les plus extrêmes il y en a 5 en automne, soit 83% et seulement 1, soit 17% en hiver.

Sur la période de temps analysée on distingue plusieurs phases avec un hydrodynamisme plus fort. Les périodes où le régime est dominé par les crues sont 1940-1942, 1956-1957, 1965-1970, 1980-1981, et le plus récent 2005-2006. En même temps on a aussi des phases plus faibles, avec un régime dominé par les étiages en 1946-1947, 1950-1951, 1960-1963 et 1990-1992.

2.2.8 Régime sédimentaire du delta

Comme nous l'avons déjà vu, la quantité estimée des sédiments qui arrivait dans le delta avant les grands aménagements du fleuve avait des valeurs comprises entre 76 millions de t/an et 51,7 millions t/an selon les différents auteurs (Kresser & Laszloffy, 1964 ; Panin, 2003, 2011). Aujourd'hui, la quantité de sédiments est estimée entre 25-35 millions de t/an (Panin & Jipa, 2002) et 35-40 millions de t/an (Panin, 2003, 2011).

Le delta a fait l'objet d'aménagements qui ont commencé assez récemment. On considère que les interventions majeures ont eu lieu seulement après 1856, les informations d'avant cette date ne mentionnent que des interventions mineures et ponctuelles. Le sujet des aménagements du delta du Danube va être traité beaucoup plus en détail dans la partie 4 de cette thèse, mais on peut déjà préciser les types d'interventions qui ont eu lieu. On regroupe généralement les interventions anthropiques dans le delta en trois grands épisodes : 1856-1902, avec l'aménagement pour la navigation réalisées par la CED centré sur le Bras Sulina avec des dragages, construction des digues et recouplement des méandres ; 1900-1940 et les aménagements de la plaine pour la pêche sous la direction de Grigore Antipa, essentiellement par le creusement des canaux ; 1944-1990 et les interventions majeures pour la mise en place des fermes piscicoles, agricoles, sylvicoles et pour l'exploitation du roseau. Une étude (Guttler, 2012) montre qu'en 1993 environ un tiers de la plaine du delta (32,1%) a fait l'objet d'aménagements lourds, avec l'assèchement et la transformation totale de surfaces importantes. Si jusqu'en 1948 la surface aménagée ne dépassait pas 14 000 ha, en 1992 ces surfaces atteignaient 111 390 ha (Bondar & Stiuca, 1996). A ces temps forts on peut ajouter

un quatrième, après 1990, relatif à la renaturalisation par remise en eaux de certaines surfaces qui ne sont pas viables d'un point de vue économique.

Différents auteurs (Bondar, 1996 ; Bondar & Panin, 2001 ; Driga, 2008) considèrent que, dans la configuration actuelle du delta d'après les aménagements, seulement environ 5 à 10% des eaux et sédiments du Danube quittent les bras pour pénétrer dans le réseau interne de la plaine deltaïque et donc qu'environ 90% ou plus du débit du Danube est conduit directement vers la mer Noire et le Lac Razim. Ces estimations concernent à la fois les eaux quittant les bras via le réseau de distributeurs et celles cédées à la plaine deltaïque lors des débordements du fleuve. En ce qui concerne les sédiments transportés par le Danube qui arrivent aujourd'hui à l'apex du delta la plupart de la charge sédimentaire traverse le delta, seulement environ 7,5% pénètrent à l'intérieur du delta : 3,4% dans l'île de Letea, 2,6% dans l'île Sf. Gheorghe et 1,5% dans l'île Dranov (Bondar & Panin, 2001).

Conclusion du chapitre 2

En rassemblant les eaux provenant à la fois de la Forêt-Noire, des monts de Bohême et des Carpates, des hautes Alpes suisses et autrichiennes, des monts dinariques et balkaniques, avec celles des vastes bassins et des basses plaines, le Danube présente un régime variable comprenant toutes les caractéristiques allant de celles d'une rivière de montagne jusqu'à celles d'un grand fleuve de plaine.

Trois types principaux de climats d'Europe se retrouvent au sein du bassin versant. La portion ouest est sous l'influence d'un climat océanique, humide et aux hivers doux. Le type continental, plus sec et aux hivers froids est prédominant à l'est. Le climat méditerranéen, avec une sécheresse estivale marquée et des hivers doux est retrouvé sur le sud-ouest du bassin. En conséquence les précipitations annuelles enregistrées couvrent une large gamme, de plus de 3 000 mm/an pour les plus hautes altitudes des Alpes, jusqu'à environ 350 mm/an pour les régions proches de la mer Noire. Les taux d'évaporation sont moins variables et restent le plus souvent compris entre 500 et 600 mm/an pour l'essentiel du bassin, à l'exception des Alpes, où les moyennes sont de 100 mm/an (McCartney-Castle et al., 2012 ; Sommerwerk et al., 2009).

Le delta du Danube est une plaine plate très basse, située à 0,52 m au-dessus du niveau moyen de la mer Noire avec une pente générale de 0,004‰. Par rapport au niveau de la mer Noire, seulement 20,5 % de la superficie du delta est inférieure à 0 m. Le reste (79,5 %) est supérieur à 0 m, dont la plupart (54,6 %) se situe entre 0 et 1 m au-dessus du niveau de la mer. Dans la morphologie actuelle du delta, on reconnaît la ligne Jibreni-Letea-Raducu-Ceamurlia-Caraorman qui sépare la plaine deltaïque fluviale de celle d'origine marine (Fig.2.10).

L'intervention humaine a modifié le régime sédimentaire du Danube, ainsi que l'organisation naturelle de l'espace deltaïque, en limitant son évolution naturelle voire en la modifiant de manière radicale dans certaines sous-unités. Dès l'origine, des changements

majeurs ont affecté le réseau de distributaires et donc la circulation de l'eau qui est le facteur essentiel de l'évolution naturelle du delta.

Actuellement, la surface du delta du Danube diminue à un rythme moyen de 15 mm/an en raison du faible débit de sédiments du Danube suite à la construction de barrages et de l'élévation du niveau de la mer à un rythme d'environ 2,5 mm/an (Bondar, 2004b). Le delta est en recul à cause de l'érosion, qui affecte les zones humides et la zone côtière. Le déficit chronique en sable s'étend en aval de la côte du delta, et la perte de plages de baignade menace une importante économie touristique au secteur sud du littoral roumain de la mer Noire (Giosan et al., 1999).

Chapitre 3

Le delta du Danube : une histoire mouvementée

Si le delta du Danube semble aujourd'hui constituer un espace immuable, l'histoire des sociétés humaines montre, au contraire, que ce milieu a été l'objet d'enjeux politiques, économiques et stratégiques particulièrement exacerbés. C'est pourquoi il est important de retracer, depuis les premiers indices de peuplement préhistoriques, la géopolitique de la zone du bas Danube et plus spécifiquement de la Dobrogea.



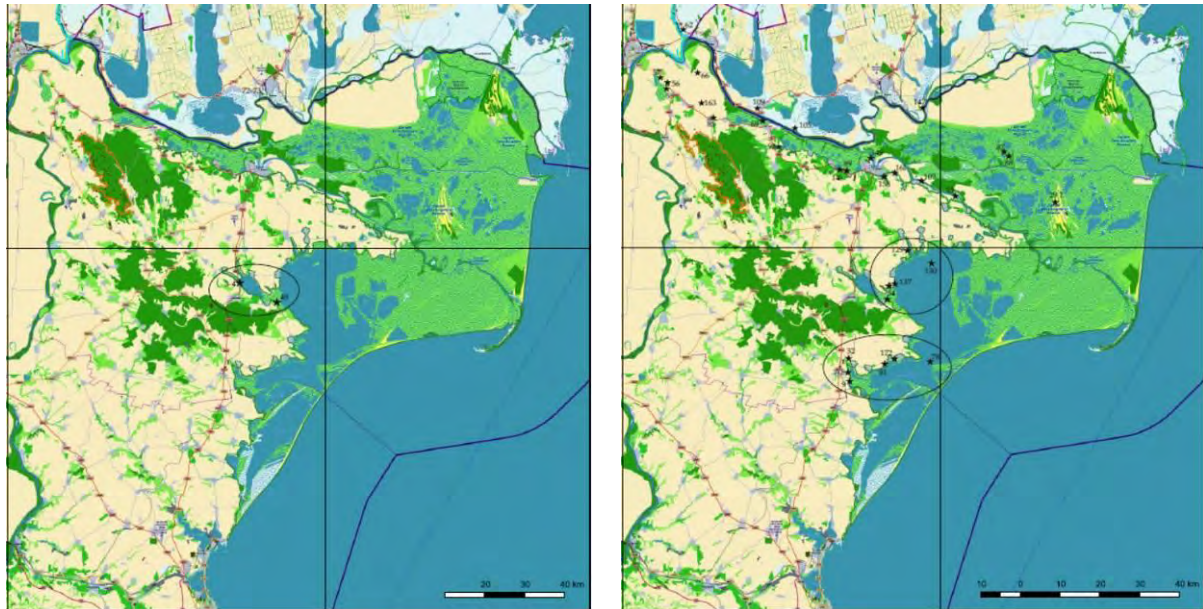
Fig.3.1 Les régions historiques de la Roumanie

Source : Romanian Tourist Office

La Dobrogea (Fig.3.1) correspond à une vaste région, comprise entre le Danube et la mer Noire, couvrant l'Est de la Roumanie et le nord-est de la Bulgarie. Cette région était par le passé connue sous le nom latin de *Dacia Pontica*, ou *Scitia Minor*. Les données historiques et archéologiques permettent d'appréhender, au-delà des simples dynamiques de peuplement, la nature des relations qui unissaient les sociétés passées avec leur environnement.

3.1 Histoire de la présence humaine dans le delta du Paléolithique à l'Epoque Moderne

Le territoire de Dobrogea a été peuplé dès le Paléolithique moyen et supérieur, comme le prouvent les découvertes faites à Babadag, Slava Rusa, et Enisala (Fig.3.2 a) (Micu et al., 2016). D'autres indices archéologiques relèvent de la période Mésolithique (Paunescu, 1999).



a. Paléolithique

b. Néo-énéolithique

Fig.3.2 Les sites archéologiques dans la région du delta du Danube

Source : Micu & Ailincăi, 2016

3.1.1 La période néolithique

Le Néolithique et la période Chalcolithique constituent une époque majeure pour appréhender la formation des premiers peuplements par les sociétés agro-pastorales. Bien que le Néolithique ancien ne soit pas représenté dans la zone du bas Danube, les premières occupations se rapportent à la période Hamangia, du VI^{ème} millénaire AEC. Les occurrences de sites relatifs à la période Chalcolithique sont plus nombreuses, caractérisées par les groupes Boian et Gumelnita (Hasotti 1997), et plus marginalement par les sites de la culture Cernavoda pour la fin de la période de transition entre Chalcolithique et Bronze ancien.

La période Néo-énéolithique, comprise entre 6 300 et 4 300 AEC, est caractérisée par la sédentarisation des communautés humaines, avec une économie fondée sur l'agriculture, l'élevage, la transformation des matières premières, la fabrication de la céramique et le commerce. Des découvertes attribuées au Néo-énéolithique (Fig.3.2 b) ont été enregistrées à proximité du delta : sur la rive droite du bras Sf. Gheorghe, à Mahmudia (Oberlander-Tarnoveanu, 1980) et à Nufaru, toutes attribuées à la culture Hamangia. Des tessons attribués à la culture Hamangia (vers 5 000 AEC) ont été découverts sur l'île de Popina du lac Razim (Comsa, 1971 ; Micu et al., 2016).

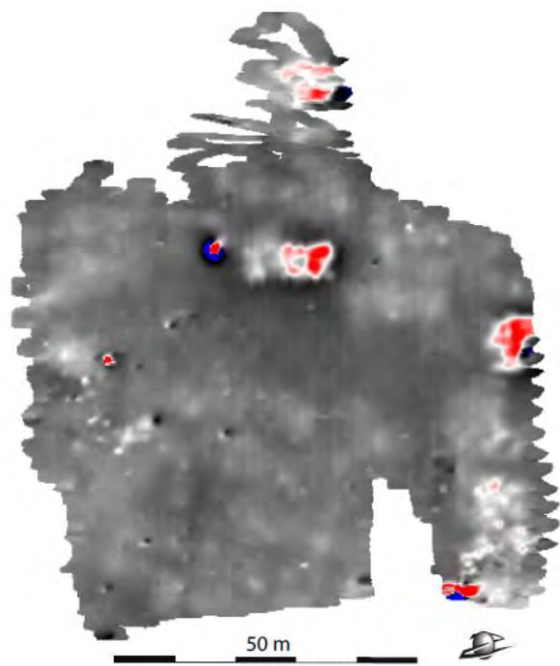


Fig.3.3 L'équipe franco-roumaine sur le site de Taraschina lors d'une campagne de fouille
Photo : A. Burens, 2011

La récente découverte des sites chalcolithique de Taraschina (Fig.3.3) et Dambul lui Haralambie (Mihail et al., 2014), sur la commune de Maliuc, implantée sur un lobe deltaïque, à l'interface des milieux maritimes, lagunaires et terrestres, a totalement renouvelé la perception de l'occupation et des modalités d'appropriation du delta par des communautés humaines anciennes, et ce dès la fin du Néolithique (culture Gumelnita).



a. Microtopographie du site Taraschina
Source : Carozza & Micu, 2016



b. Taraschina - carte anomalies magnétiques
Source : Carozza & Micu, 2017

Fig.3.4 Le site archéologique de Taraschina

Le site d'habitat de Taraschina, occupé entre 4 800 et 4 250 AEC, se développe sur une surface de 1,5 ha (Fig 3.4). La petite communauté humaine implantée sur le site a dû faire face à d'importantes modifications de son environnement, en partie liées à une rapide élévation du niveau de la mer Noire (Carozza J.M. et al., 2010; Carozza L. et al., 2011).

Le travail réalisé à Taraschina par une équipe franco-roumaine propose une double lecture de la relation entre la localisation des sites archéologiques et leur environnement, lecture qui permet d'éclairer à la fois les processus de transformation territoriaux tout en tenant compte des évolutions paléogéographiques. Les données archéologiques sont confrontées aux données paléoenvironnementales, notamment celles concernant le niveau marin et l'évolution de la progradation du delta.

Le caractère exceptionnel et unique du site de Taraschina tient avant tout à sa position très avancée dans le delta actuel du Danube. Jusqu'alors, les témoignages les plus anciens découverts en contexte alluvial dans le delta étaient attribués à la période de transition à l'Âge du bronze (Micu et al, 2009). La localisation du site de Taraschina atteste de manière absolue qu'un niveau marin proche de 0 asl était atteint dès 4 300-4 000 AEC dans le delta. La localisation du site, à la jonction probable entre espace de terre ferme et espace de lagune, suggère un positionnement stratégique, favorable au contrôle des territoires de l'amont et de la navigation.

Dans le cas spécifique du bas Danube, nous observons un abandon des habitats chalcolithiques suivi d'une période, longue de près de 9 siècles, durant laquelle il est difficile d'établir les modalités de l'occupation humaine. Il s'agit d'une rupture marquée par la disparition des occupations des sites et un abandon long du tell de Taraschina (Carozza & Micu, 2016), mais aussi ailleurs, comme sur le tell de Pietrele dans la plaine roumaine (Weninger et al., 2010). Une compilation des datations disponibles pour l'ensemble de la Dobrogea (Fig.3.5) montre bien cette rupture.

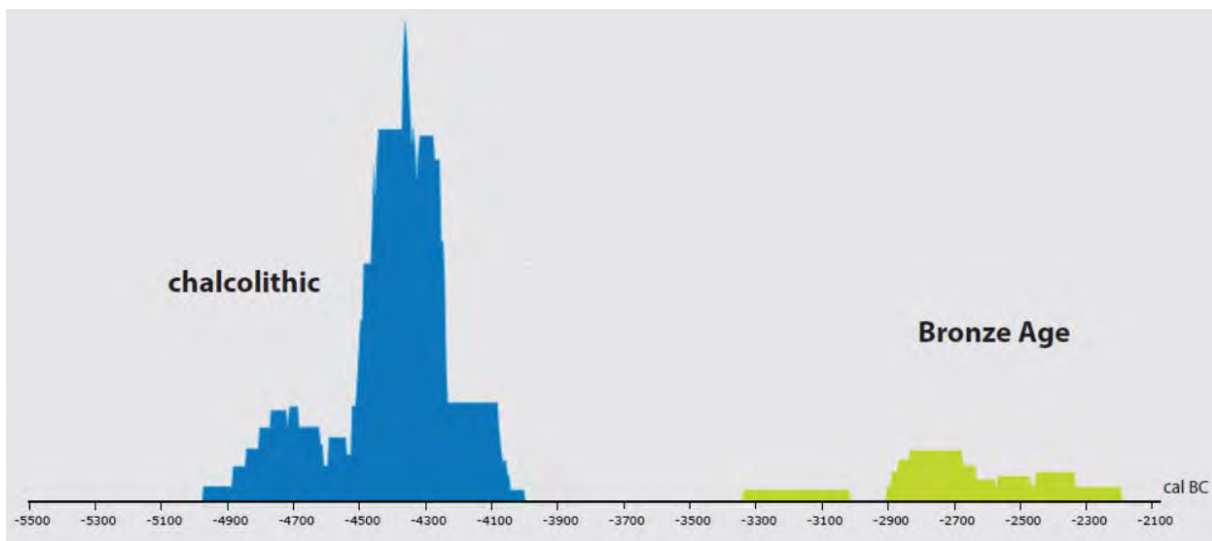


Fig.3.5 Histogrammes cumulés de 43 datations disponibles pour caractériser la transition entre le Chalcolithique (36 datations) et l'Âge du Bronze (7 datations) en Dobrogea

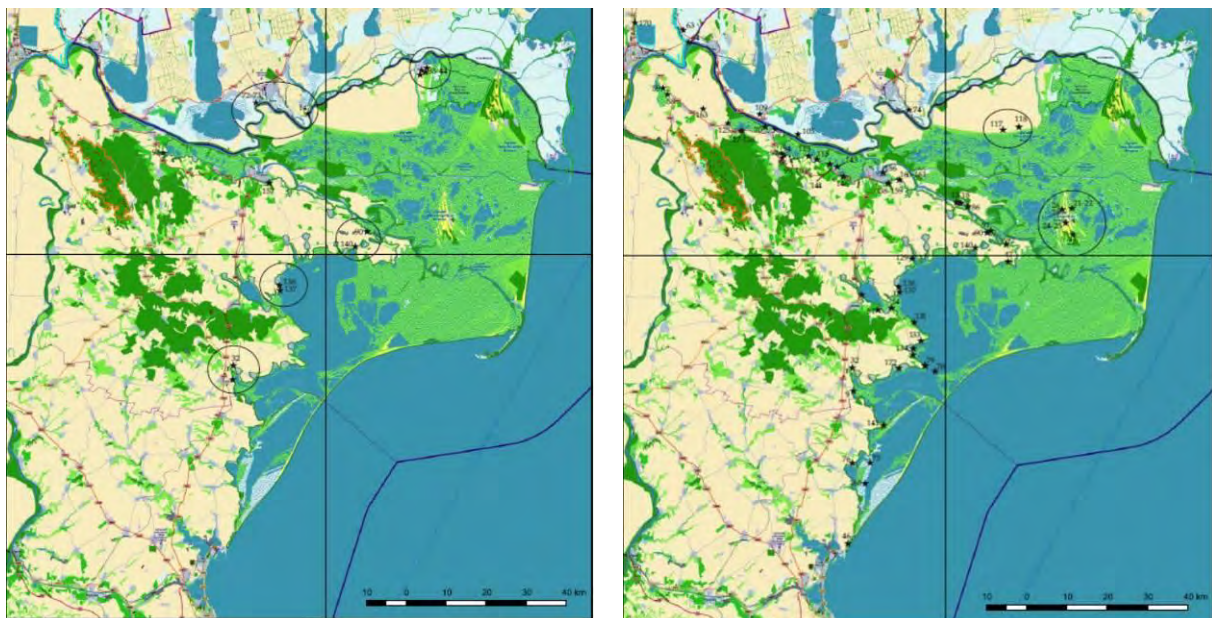
Source : Carozza & Micu, 2016

Ce long hiatus, témoin de changements socio-économiques importants, n'est cependant pas propre à la seule Dobrogea, mais à l'échelle des Balkans (Weninger & Harper 2015). Weninger et Harper mettent en avant le rôle des changements climatiques, et plus particulièrement du l'évènement qui a eu lieu entre 4 200 et 3 800 AEC, dans « l'effondrement » du modèle socio-économique chalcolithique. Ces changements environnementaux auraient contribué, à l'échelle des Balkans, à une rupture culturelle globale.

3.1.2 L'Âge du bronze

Le début de l'Âge du bronze sur le territoire roumain est placé autour des années 3 500 B.C., et sa fin autour des années 1 200 B.C. (Vulpe, 2001). Malgré les nombreuses recherches archéologiques dans la Dobrogea, l'Âge du bronze est resté l'une des périodes historiques les moins bien connues. En Dobrogea ont été découverts des vestiges de l'Âge du bronze à Cernavoda, Histria, Medgidia, Luncavita, Enisala, Tulcea, Sarichioi sau Murighiol, Ceamurlia de Jos (Fig.3.6 a).

Dans le delta du Danube, des fouilles de sauvetage ont permis d'identifier à proximité de la localité de Chilia Veche (Fig.3.6 a) des traces attribuées à l'Âge du bronze et à la période médiévale ancienne (Vasiliu, 1995). D'autres recherches réalisées par les chercheurs du Musée du Delta du Danube de Tulcea sur les rives de Caraorman et Letea ont permis l'identification d'objets et de complexes archéologiques de l'Âge du bronze et médiévaux. (Simion, 1971).



a. L'Âge du bronze
b. L'Âge du fer
Fig.3.6 Les sites archéologiques dans la région du delta du Danube
Source : Micu & Ailincăi, 2016

3.1.3 L'Âge du fer

Des vestiges de la période du début et du milieu de l'Âge du fer (fin XI^{ème} siècle – VI-V^{ème} siècle AEC) ont été découverts à Babadag, Niculitel, Enisala, Jijila, Murighiol, Revarsarea, Orgame, Histria, Telita, Celic Dere et Bestepe (Ailincăi et al, 2003 ; Simion 1997, 2000) (Fig.3.6 b). Vers la fin de cette période a lieu l'individualisation de la branche du nord, les Géo-daces, de la branche du sud des Thraces.

Les Scythes, nom donné par les grecs aux peuples migrants de l'Est de l'Europe auraient, selon Hérodote, été chassés de l'Asie centrale et se seraient installés au nord de la mer Noire, en Moldavie et sur les embouchures du Danube. Ils seraient à l'origine du premier nom connu attribué à la mer Noire : Axaina (bleu foncé – indigo). Leur population jouxtait à l'ouest celle des Thraces et des Gètes en Dobrogea. Attirés par les richesses de Dacia, les Scythes auraient, durant 300 ans, renouvelé leurs incursions dans ces territoires. Les quelques groupes ayant choisi de s'y implanter ont été assimilés, par la suite, par les Daces (Ionescu, 1909).

La période grecque

Au milieu de l'Âge du fer les grecs arrivent dans cette région. Du VI^{ème} au I^{er} siècle AEC, le littoral de la mer Noire est colonisé (Ailincăi, 2013; Buzoianu, 2001). Les grecs nomment cette mer *Pontos Euxinos* (la mer accueillante). Ils fondent des cités-ports, dont Tomis (Constanta), Histria, Orgame (Jurilovca), et sur le Danube, Aegyssos (Tulcea) et Axiopolis (Cernavoda) (Fig.3.6 b).

On sait qu'à l'époque des implantations des colonies grecques la forme du littoral de la mer Noire avait une autre configuration, les grands lacs Razim, Golovita, Zmeica et Sinoe localisés aujourd'hui au sud du delta, n'étaient pas fermés par les cordons littoraux et se présentaient comme des golfes ouverts sur la mer (Dimitriu, 2012 ; Bony et al., 2013 ; Bony et al., 2015, Vespremeanu-Stroe et al., 2015). Histria a été, dans un premier temps, la plus prospère des colonies (Angelescu & Avram, 2014), mais suite aux dépôts d'alluvions dans le golfe (Vespremeanu-Stroe et al., 2013), Tomis devient la plus importante cité de la rive ouest de la mer Noire.

Entre 66 et 44 AEC, le roi dace Burebista crée un royaume étendu et puissant en unifiant les tribus du nord du Danube, en conquérant les populations du Danube moyen et celles comprises entre les Balkans et le fleuve, mais aussi en contrôlant les cités grecques du littoral ouest et nord-ouest de la mer Noire. Il devient ainsi « le premier et le plus grand des rois des Thraces, maître de toutes les terres d'ici et d'au-delà du Danube » (Iorga, 1940). Dans le delta du Danube des prospections archéologiques ont permis d'identifier des traces attribuées à l'Âge du fer sur les rides Stipoc et Caraorman (Micu & Ailincăi, 2016) (Fig.3.6 b).

La Dobrogea a occupé une place à part dans l'histoire et l'évolution du peuple Dace, en influençant de manière significative le commerce entre la mer Noire et la Dacie. Selon Strabon, après la mort de Burebista en 44 AEC, son royaume aurait été divisé en quatre, puis

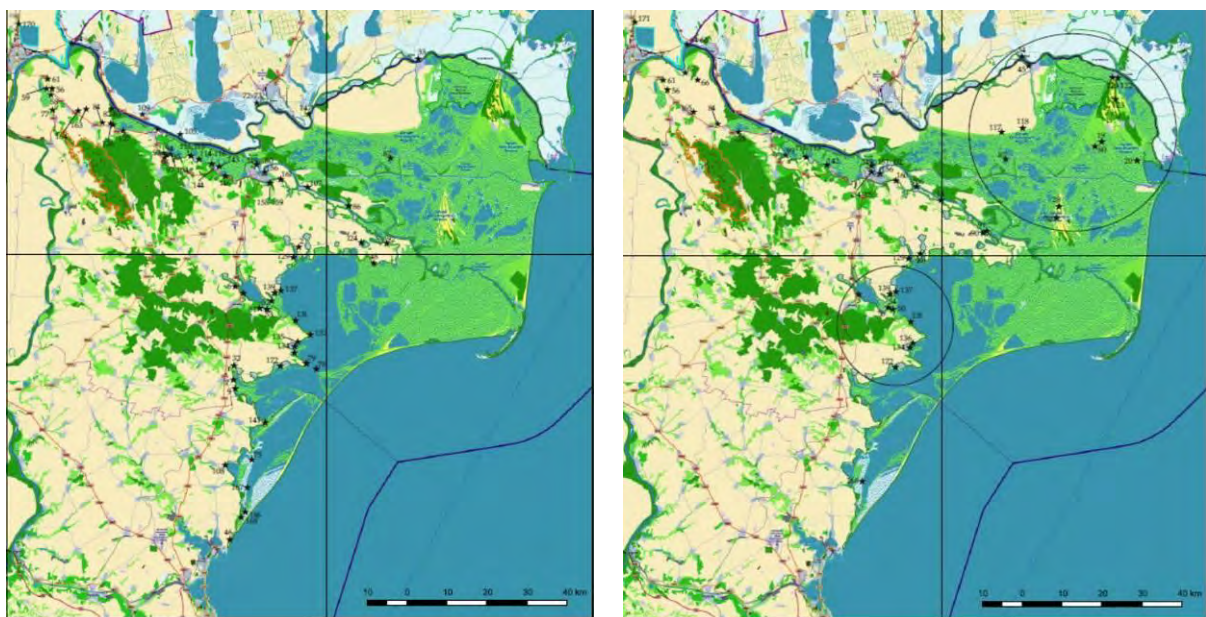
cinq parties. Le pouvoir des Gètes déchoit suite aux luttes internes et aux conquêtes romaines (Ionescu, 1909).

La période romaine

L'Empire romain prend le contrôle de la totalité de la Dobrogea vers la fin de l'Âge du fer, en 29-27 AEC au cours de la campagne conduite par le proconsul de Macédoine, le général Marcus Licinius Crassus (Suceveanu, 1977). Grâce au soutien du roi dace Rholes du sud-ouest de la Dobrogea, il a vaincu Dapyx, roi des Gètes de la partie centrale de la Dobrogea. Il a ensuite chassé Zyraxes, qui régnait au Nord de la Dobrogea. Les cités grecques de la côte sont ainsi entrées sous la conduite du gouverneur de Macédoine. Entre 20 AEC et 10 EC, la base de la flotte romaine du Danube (Flavia Moesia) a été déplacée à Noviodunum (Isaccea).

Au cours des guerres daciques, de nombreuses batailles ont opposé sur le territoire dobrogéen les Daces, alliés des Sarmathes, aux Romains. La province a été globalement stable et prospère jusqu'à la crise du IIIème siècle, qui a conduit à l'affaiblissement du système défensif sous l'impulsion de nombreuses invasions barbares (Suceveanu & Barnea, 1991).

En 248, une coalition de populations migrantes (Goths, Carpes, Taifals, Bastarns et Hasdings) a dévasté la Dobrogea. Durant le règne de Traianus Decius (249-251), la province a énormément souffert des attaques menées par les Goths. En 330, Constantin-le-Grand a déplacé sa capitale de Rome à Constantinople ; la Dobrogea devient une partie de l'Empire romain de l'est, ou byzantin. Après la séparation définitive de l'Empire romain en 395, la Dobrogea entre dans l'Empire romain de l'est et est progressivement christianisée. Au cours de la seconde moitié du VIème siècle EC, plusieurs invasions des Slaves et des Avars ont eu lieu, ce qui donne lieu à l'abandon de la Dobrogea par les autorités romano-byzantines.



a. La période romaine
b. La période médiévale
Fig.3.7 Les sites archéologiques dans la région du delta du Danube

Source : Micu & Ailincai, 2016

Des vestiges antiques ont été retrouvés dans les fouilles et prospections archéologiques récentes de Taraschina et Dambul Lui Haralambie, dans le delta du Danube (Fig.3.7 a), datés à Taraschina de 230-250 EC (Carozza & Micu, 2016).

3.1.4 La période médiévale

Les peuples migrants

Après 534, suite aux invasions dévastatrices des Huns, de nombreuses cités ont été détruites, comme Tropaeum, Ulmentum et Histria, où l'on a trouvé d'importantes traces d'incendies (Muresan, 2006).

Autour de 600, les Bulgares ont envahi le sud du Danube. Après 680, ils ont pénétré au nord du Danube. En 681, la Dobrogea devient partie intégrante du premier Empire bulgare. Toutefois, durant les trois siècles de domination bulgare, les Byzantins contrôlaient encore la côte de la mer Noire et les embouchures du Danube, voire quelques cités, sur de courtes périodes (Vergatti, 2016). Parallèlement, des populations slaves se sont installées dans cette région parmi les Thraces latinisés ou hellénisés.

Les Cumanes, un peuple d'origine turque de la région du fleuve Volga (au Nord de la mer Noire, d'une zone nommée Cumanie) sont arrivés en Dobrogea en 1094. Ils y ont joué un rôle important jusqu'à la fondation de l'Empire ottoman (1299). La Dobrogea a progressivement décliné sous le gouvernement cumane, alors que l'Empire cumane s'étendait pour contrôler la Valachie, la Moldavie et une partie de l'actuelle Bulgarie.

En 1241, les premiers groupes de Tatars, conduits par Kadan, ont envahi la région, marquant le commencement de la présence des Tatars en Dobrogea. D'autres groupes de Tatars arrivent durant l'occupation Ottomane et la période d'expansion de l'Empire russe, en provenance de Crimée (Ekrem, 1994). Leur présence a eu une influence importante sur la culture de Dobrogea.

En 1357 le despote Dobrotici régnait sur un vaste territoire situé entre le Danube et la mer Noire et en 1359 il conquiert les embouchures du Danube. Le nouvel état est nommé Dobrogea, d'après le nom de son gouverneur, un nom qui est resté jusqu'à nos jours pour désigner cette région (Bratianu, 1999). L'affirmation de Dobrotici sur le plan politique dans les Balkans est la conséquence de l'ascension économique de la Dobrogea, de l'affirmation des centres économiques tels Chilia et Licostomo (Fig.3.7 b), qui attiraient des marchands de tous lieux (Bule, 2010).

En 1388 et 1389, le roi de Valachie (sur l'autre rive du Danube), Mircea-le-Vieux, a vaincu le Grand Vizir Turc Çandarlı Ali Pasha, plaçant par là-même la Dobrogea et Silistra (ville du NE de la Bulgarie) sous gouvernement Valaque pour la première fois. En 1390 et 1393, Mircea-le-Vieux repousse les Ottomans qui tentent de reconquérir la Dobrogea. En 1396 il fortifie les cités d'Isaccea et d'Enisala au nord de la Dobrogea ainsi que Caliacra, au sud. En 1403 il occupe le port génois de Chilia (Bule, 2010).

3.1.5 L'époque moderne

L'époque moderne couvre la période historique d'environ trois siècles commençant à la fin du Moyen Âge, généralement placée en 1453, date correspondant à la chute de Constantinople, ou en 1492 date marquant la découverte de l'Amérique par Christophe Colomb. Pour Dobrogea cette époque correspond en gros à la **période « ottomane »**.

Le territoire de la Dobrogea est entré définitivement sous domination turque en 1416 (Iorga, 1940). En 1484, les Ottomans occupent Chilia, Licostomo et tous les territoires adjacents, le delta du Danube compris (Fig.3.8 a). Le Pont Euxin est désigné sous le nom turc « Karadeniz » (mer Noire) à partir du XV^{ème} siècle. Les Turcs parviennent, au cours de la période d'essor de l'Empire ottoman, à conquérir toutes les rives de la mer, la transformant en un vaste « lac turc » (Agoston, 2011). Par la suite, n'ayant plus rien à craindre de ce côté, les armées ottomanes détruisent toutes les fortifications du littoral maritime.

Durant la période de l'Empire ottoman, des groupes turcs, arabes et tatars s'installent sur le territoire de Dobrogea, les derniers entre 1512 et 1514. Aux XIV-XVI^{èmes} siècles EC, du fait de la progression de l'Empire ottoman vers l'Europe Centrale, la Dobrogea devient une possession périphérique, sans grande importance stratégique ou économique. Cette situation se maintient jusqu'au début du déclin du pouvoir ottoman, au XVII^{ème} siècle.

Dans le delta du Danube des vestiges de la période médiévale ont été retrouvés sur les grandes rides Chilia, Letea, Caraorman, Stipoc, ainsi que à Taraschina (Fig.3.7 b.) (Simion, 1971 ; Carozza & Micu, 2017).

3.2 L'époque contemporaine et le contexte politique

3.2.1 Les guerres russo-turques

La situation se modifie à partir de l'expansion territoriale de l'Empire russe. Entre le XVII^{ème} et le XIX^{ème} siècle, la Dobrogea devient un champ de bataille entre les empires russe et ottoman. Les Russes traverseront cinq fois la Dobrogea pour se battre contre les Turcs (Fig.3.8).

Entre 1768 et 1774 une guerre opposa l'Empire russe à l'Empire ottoman, allié du Khanat de Crimée sur les territoires de la Moldavie, Valachie, Crimée et dans la mer Méditerranée orientale. En 1770, les Ottomans perdent la cité de Chilia ; l'année suivante, les Russes occupent Tulcea, Isaccea, Macin et Harsova, les mosquées brûlent, les fortifications sont détruites, les agglomérations civiles sont pillées, les navires militaires coulés, des milliers de prisonniers sont emmenés en captivité en Russie. En 1772, les Ottomans reviennent pour vaincre les Russes à Silistra. La guerre finit en 1774 avec le traité de paix de Kuciuk-Kainargi, par lequel les Russes obtiennent le droit de libre navigation sur le Danube et la mer Noire (Xenopol, 1997).

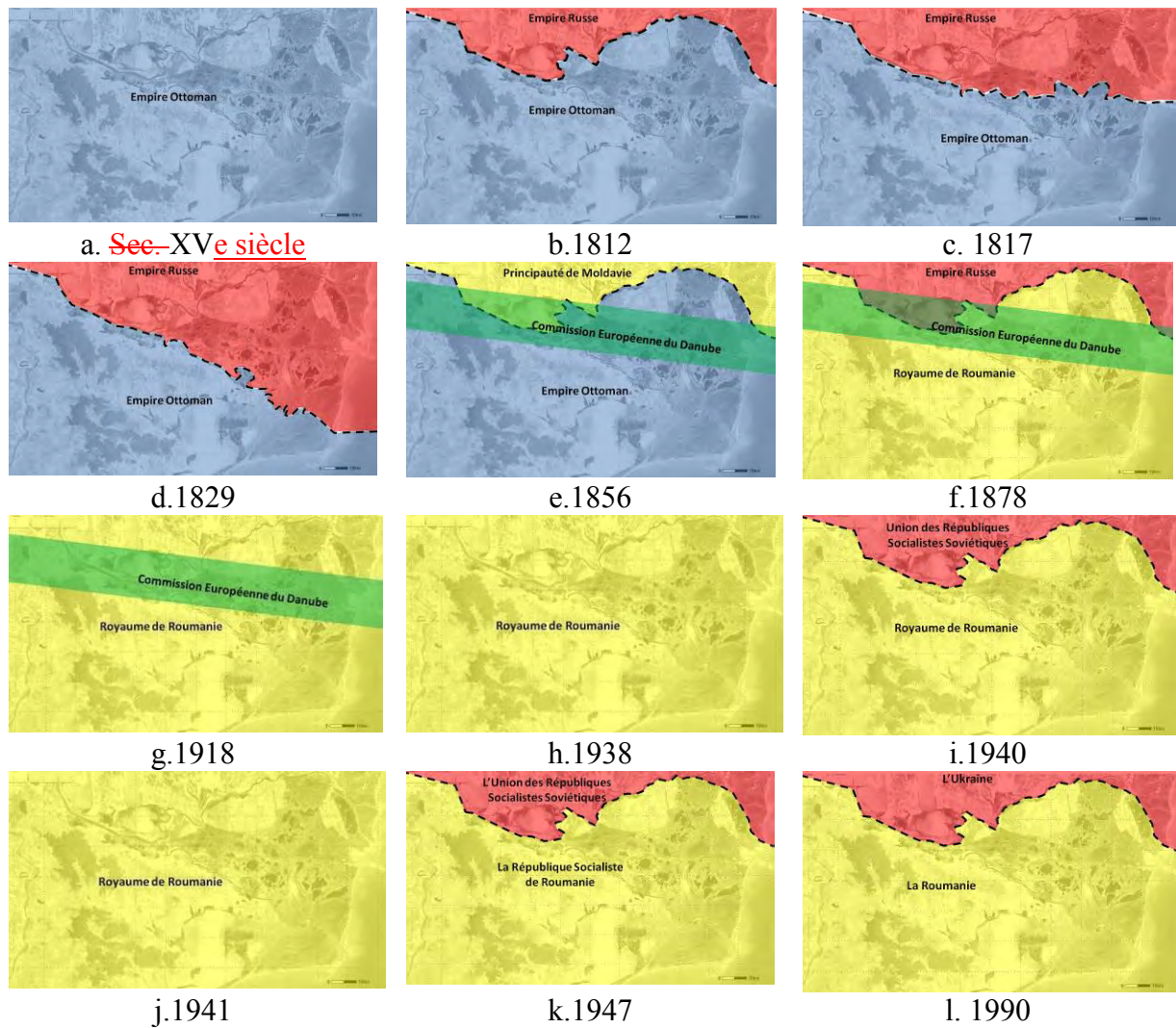


Fig.3.8 L'évolution des frontières du XV^{ème} au XX^{ème} siècle autour de delta du Danube

Entre 1787 et 1792 une autre guerre oppose l'Empire russe et l'Empire d'Autriche à l'Empire ottoman sur les territoires de la Serbie, Moldavie et Valachie. Une autre victoire des russes et l'Empire ottoman reconnaît en outre l'annexion russe de la Crimée pour la première fois, suite au traité signée à Iasi en Moldavie, tandis que la Russie évacue les principautés danubiennes (Arbure, 1898).

Entre 1806 et 1812 une nouvelle guerre se déclenche entre l'Empire russe et l'Empire ottoman sur les territoires de Serbie, Moldavie et Valachie. Pendant l'été 1809, les armées russes traversent le Danube et occupent plusieurs ports. Suite au traité de paix de Bucarest en 1812 la Russie évacue les principautés roumaines mais annexe les territoires de la Moldavie Orientale et le Boudjak ottoman (région situé au nord du delta du Danube), formant sa nouvelle province de Bessarabie. Le Bras Chilia est reconnu comme frontière (Fig.3.8 b). La Russie obtient aussi des droits de commerce sur le Danube (Mischevca, 2012).

En 1817, la Russie revendique le bras de Sulina et l'occupe (Fig.3.8 c). Dans ce contexte, suite à la cession de la partie de nord du delta du Danube, se produit le retrait d'une partie de la population turque au sud du Danube.

C'est au cours de cette période que s'installent en Dobrogea, dans la région des bouches du Danube, des grands lacs et dans quelques régions abritées des berges du fleuve, les lipovènes, population russe de religion chrétienne orthodoxe schismatique nommées aussi « les Vieux-Croyants » qui fuyaient la Russie à cause des persécutions du tsar Pierre-le-Grand. En Dobrogea, ils trouvent abri et sont accueillis de manière tolérante (Beaumont, 2008). Ils préservent, encore à ce jour, leurs traditions, leur langue maternelle, leurs coutumes religieuses et pratiquent l'agriculture, la viticulture, l'apiculture et surtout la pêche.

Les Hohols de Nipre (surnom des Cosaques ukrainiens), s'installent en Dobrogea pour fuir l'expansionnisme des Russes. Ces pêcheurs, agriculteurs et très bons fabricants de barques débarquent dans le delta du Danube et tentent (en y parvenant par endroits) de chasser les lipovènes.

En 1826, suite à la signature de la convention d'Akkerman par la Russie et l'Empire ottoman, les russes obtiennent le contrôle du Bras Sulina (Castellan, 1999). En 1828 et 1829 une autre guerre se déroule entre l'Empire russe et l'Empire ottoman sur les territoires de la Moldavie, Valachie, Thrace et Arménie. Pendant cette guerre toute la partie de nord de la Dobrogea est occupée par les troupes russes. À cette occasion, 65 villages sont entièrement détruits. Suite au traité de paix d'Andrinople (actuellement Edime en Turquie) la Russie avance autour de la mer Noire, l'Empire ottoman reconnaît en outre la souveraineté russe sur le delta du Danube (Fig.3.8 d), que la Russie gardera jusqu'en 1856 (Giurescu, 1938).

3.2.2 La Commission Européenne du Danube

La Dobrogea était loin de s'être reconstruite quand, en 1853, éclate la guerre de Crimée. Dans ce conflit, qui dure jusqu'en 1856, la Russie s'oppose aux grands pouvoirs européens (Grande Bretagne, France, Royaume de Prusse, Empire d'Autriche, Sardaigne, Empire ottoman). La Dobrogea constitue de nouveau l'une des principales zones d'opérations militaires, avant leur transfert en Crimée.

La Russie perd la guerre et les privilèges qu'elle exerçait dans les Principautés Danubiennes sont transférés vers le groupe de grands pouvoirs européens. Les attendus du traité de paix de Paris, le 30 mars 1856, ont comme objectif clair de sortir la Russie des bouches du Danube et de sa posture de riveraine. La partie sud de la Bessarabie, les départements de Cahul, Bolgrad et Ismail, ont été rétrocédés à la Moldavie. Le reste de la Dobrogea revient à l'Empire ottoman (Fig.3.8 e).

Le traité de paix déclare la neutralité de la mer Noire et sur le Danube la circulation s'établit sous la surveillance d'un organisme nouveau, la Commission Européenne du Danube (CED), formée par la Grande-Bretagne, la France, le Royaume de Prusse, l'Empire d'Autriche, l'Empire russe, le Royaume de Sardaigne et l'Empire ottoman, ce qui contribue

au réveil économique de la Dobrogea. L'importance politique de cette région augmente et les capitaux occidentaux sont attirés.

La CED consistait en une organisation politico-économique, administrée par des français et ayant pour ingénieur-en-chef l'anglais Charles A. Hartley, surnommé « Le père du Danube ». Hartley est anobli au rang de « Sir » par la Reine d'Angleterre, après la réussite des travaux d'amélioration de la navigation dans le delta du Danube, plus précisément sur le bras central du delta, le Bras Sulina. Officiellement, la CED s'occupait de la régularisation du chenal navigable du Danube et de l'application d'un règlement applicable à tous les états qui circulaient, avec des sièges à Sulina (primaire), Galati (secondaire) et Tulcea (tertiaire) (CED, 1931).

Entre 1877-1878 un nouveau conflit opposera l'Empire ottoman à l'Empire russe, allié à la Roumanie, à la Serbie et au Monténégro. La Roumanie entre en guerre dans l'espoir d'obtenir une reconnaissance internationale de son indépendance. Cette guerre est connue dans l'histoire roumaine comme la Guerre d'Indépendance.

L'Empire ottoman perd la guerre et le 3 mars 1878 est signé le traité de San Stefano dans la banlieue de Constantinople. La Russie obtient comme gain territorial le Sud de la Bessarabie, ce qui lui permet de retourner aux embouchures du Danube, conquis sur son alliée la Roumanie, territoire qui a été gardé comme zone-tampon entre les russes et les turcs lors de la guerre de Crimée. En compensation, la Roumanie reçoit le Nord de la Dobrogea avec le delta du Danube, à l'exception du lobe de Chilia, ainsi que la reconnaissance de son indépendance (Boia, 2003).

3.2.3 La Roumanie indépendante

En 1859, l'union des principautés roumaines (Moldavie et Valachie) a posé les bases de la Roumanie moderne. Ce n'est qu'à partir de ce moment que le nouvel état devient membre à part entière de la CED. Les conditions créées par la guerre entre la Roumanie et la Russie contre les Turcs de 1877 à 1878 — surnommée « la Guerre d'Indépendance » en raison de l'obtention de l'indépendance de la Roumanie vis-à-vis de l'Empire ottoman — permettent à la Dobrogea de s'unir à la Roumanie. Cette union a été confirmée par le traité de paix de San Stefano (3 mars 1878) entre l'Empire russe et l'Empire ottoman, puis par le Congrès de Berlin (13 juin-13 juillet 1878). À Berlin il a été décidé que la Russie reconnaisse l'indépendance de la Roumanie et lui cède les territoires de la Dobrogea et du delta du Danube, ainsi que la petite « Île des serpents » (Bulei, 2011). À la fin de cette guerre, la Roumanie perd les départements du sud de la Bessarabie (nord du delta du Danube), Cahul, Ismail et Bolgrad (Fig.3.8 f). Cet accord offrait de nouvelles possibilités à la Roumanie d'un point de vue économique, du fait de l'accès à la mer Noire et du contrôle du trafic sur le Danube. La CED garde toujours le contrôle sur la navigation du bras Sulina.

A la fin du XIXème siècle et au début du XXème siècle, la Dobrogea voit une augmentation de la population roumaine, qui passe de moins de 20% avant la guerre (17% en 1861), à 29% en 1903 et à plus de 50% à la fin des années 1930. Pour renforcer l'idée d'un

état entièrement roumain, le roi Carol II approuve l'immigration de plus de 30 000 roumains de Bulgarie, Macédoine et Grèce, qui s'installent en Dobrogea (Iorga, 1940). En parallèle de cette politique de l'État Roumain se développe une émigration massive des turcs de Dobrogea vers la République Turque, consécutivement à la politique de Mustafa Kemal Atatürk qui encourage les musulmans des Balkans à s'installer dans le nouvel État Turc.

Les ports du nord de la Dobrogea, Sulina et Tulcea, sont modernisés, et augmentent leur capacité de transit des marchandises sur le fleuve. Après la Guerre d'Indépendance la Roumanie demande à plusieurs reprises le contrôle des embouchures du Danube. La première fois en 1881, par la voix du Roi Carol I de Roumanie, il est exigé que les bouches du Danube, qui se trouvaient sur le territoire roumain, soient « exclusivement sous le contrôle des autorités roumaines » (Woods, 1921).

La Roumanie dans la Première Guerre mondiale

Durant la Première Guerre mondiale, le Royaume de Roumanie reste neutre les deux premières années, puis rejoint l'Entente fin août 1916. Occupé par les puissances centrales au terme d'une offensive concertée de troupes austro-allemandes d'une part, et bulgares d'autre part, le Royaume de Roumanie doit capituler à la suite de l'armistice entre la Russie bolchevique et les puissances centrales, puis accepter une paix de défaite en mars 1918. Jamais ratifiée, la Paix de Bucarest constitue une indéniable victoire des Puissances centrales, mais n'empêche pas le retour de la Roumanie dans le conflit durant les derniers jours du conflit, en novembre 1918 (Buzatu et al., 1998). Dans le cadre des négociations de paix, à la fin de l'année 1918, la Roumanie parvient à obtenir un statut de vainqueur, permettant au royaume de se voir confirmée la possession de la Bessarabie, région située au nord du delta du Danube, annexée en mai 1918 (Fig.3.8 g).

La période de l'entre-deux-guerres

Les ports Sulina et Tulcea commencent à décliner dans l'entre-deux-guerres, par la réduction drastique du commerce et de la navigation sur le Danube, phénomènes liés au climat d'incertitude engendré par le nouveau statut de la navigation relative aux détroits du Bosphore et des Dardanelles (Scurtu, 1996). L'Union des Républiques Socialistes Soviétiques (URSS), état fédéral qui remplace l'ancien Empire russe, a été créé le 30 décembre 1922, formé de quinze républiques socialistes soviétiques, jusqu'à sa dissolution le 25 décembre 1991.

En 1919 dans la Conférence de Paix de Paris, en 1921 à la Conférence du Danube, et en 1923 à la Conférence de Lausanne, la Roumanie remet en question le sujet du contrôle des embouchures du Danube, mais ses demandes sont toujours rejetées par les grands pouvoirs. La montée en puissance de l'Allemagne donne l'occasion à la Roumanie de prendre le contrôle. Après 1933, les allemands demandent à intégrer la CED. Dès le 14 novembre 1936, l'Etat Allemand dénonçait unilatéralement le régime fluvial international énoncé dans les traités de Versailles et décidait de se départir de ses propres intérêts sur la partie des voies navigables déclarées internationales mais se trouvant sur son territoire (Tulus, 2005). Après de nombreuses campagnes de presse, reflétant les intérêts politiques et économiques des autorités de Bucarest, qui exigeaient le rétablissement de la souveraineté nationale, le 18 août

1938 est signé le Traité de Sinaia, qui réduit au minimum les compétences de la CED et reconnaît la souveraineté de la Roumanie sur la zone maritime du fleuve. En revanche est créée l'Administration du Bas-Danube, organisme sous le contrôle du gouvernement roumain. La décision de transférer presque toute l'administration du delta à la Roumanie a été annoncée le 20 août 1938 (Fig.3.8 h) et le transfert d'autorité a effectivement eu lieu au début du mois de septembre de la même année (Garrigues, 1957). Le 1er mars 1939, le Traité de Bucarest reconnaissait à l'Allemagne le droit de faire partie de la C.E.D., pays qui va garder le contrôle sur le Danube jusqu'à la fin de la Deuxième Guerre mondiale, en 1944. Le 17 mai 1939, pendant une cérémonie à Sulina, le drapeau roumain remplace celui de la CED.

La Roumanie dans la Deuxième Guerre mondiale

Le 26 juin 1940, l'URSS adresse un ultimatum au Royaume de Roumanie. L'administration roumaine a 48 heures pour évacuer la Bessarabie. Le 28 juin 1940 la région est occupée par l'Armée rouge (Fig.3.8 i), et elle rejoint la République Socialiste Soviétique Autonome Moldave (RSSAM) créée en 1924 au sein de la République Socialiste Soviétique d'Ukraine. Le 2 août 1940, la RSSAM est transformée en République Socialiste Soviétique Moldave.

Le 7 septembre 1940 a été signé le Traité de Craiova entre la Roumanie et la Bulgarie. Selon ses dispositions, la Roumanie a cédé à la Bulgarie la partie sud de la Dobrogea, nommée aussi le Cadrilater, et a accepté d'effectuer des échanges de population (Giurescu, 1999).

Le 23 novembre 1940 la Roumanie devient membre de l'Axe et le 22 juin 1941, les troupes roumaines traversent la frontière, représentée par la rivière Prut, participant à l'opération Barbarossa contre l'Armée rouge aux côtés des allemands, des hongrois et des italiens (Giurescu, 1999). Aux termes de l'accord de Tighina, le Royaume de Roumanie récupère le 30 août 1941 la Bessarabie (Fig.3.8 j).

En mars 1944 l'Armée rouge revient en Bessarabie où elle arrête son offensive jusqu'au 20 août 1944, attendant que la Roumanie quitte l'Axe et rejoigne les Alliés, ce qui se produit le 23 août 1944. Une fois l'armistice signé, l'armée roumaine est mise sous commandement soviétique, lance ses offensives contre la Hongrie et progresse jusqu'en Slovaquie. Bien que l'entrée en guerre de la Roumanie aux côtés des Alliés ait permis d'éviter la mort de dizaines de milliers de soldats et ait accéléré la fin de la Deuxième Guerre mondiale d'environ six mois, l'accord d'armistice du 12 septembre 1944 (armistice soviéto-roumain, tardivement signé par l'Union soviétique) traite clairement la Roumanie en ennemie.

Dans le traité de Paris à la fin de la Deuxième Guerre mondiale, signé le 10 février 1947, la Roumanie est obligée d'abandonner la Bessarabie, dont la partie du delta du Danube située au nord du Bras Chilia, à l'URSS (Fig.3.8 k).

3.2.4 La période communiste

1945-1960 – L’instauration du communisme

A la fin de la Deuxième Guerre mondiale, entre le 4 et le 11 février 1945, a lieu la Conférence de Yalta, une réunion des principaux responsables de l'Union soviétique (Joseph Staline), du Royaume-Uni (Winston Churchill) et des États-Unis (Franklin D. Roosevelt). Il est décidé que la Roumanie entrerait dans la sphère d'influence de l'Union Soviétique en proportion de 90% (Georgescu, 1993).

Le 6 mars 1945, le Roi Mihai de Roumanie est obligé par la présence des armées russes sur le territoire de Roumanie de valider le premier gouvernement communiste sous la direction de Petre Groza (Deletant, 2006). Le gouvernement de Groza a donné notamment le droit de vote aux femmes et, toujours dans l'idée de gagner du capital électoral, lance une « réforme agraire » en mars 1945 qui vise à prendre des terres aux propriétaires de plus de 50 ha et les donner aux paysans pauvres.

Des élections sont organisées en novembre 1946, toujours en présence des armées russes sur le territoire, et les communistes annoncent une victoire avec 70% (Deletant, 2006). Selon d'autres sources les partis démocratiques (PNT, PNL, PSD) auraient gagné avec 78% (Denize & Mata, 2005). Avec le soutien direct de Staline, Gheorghe Gheorghiu Dej gagne la lutte interne et s'impose comme leader unique du parti. Le 30 décembre 1947 Gheorghe Gheorghiu-Dej et le premier ministre Petre Groza forcent le roi Mihai de Roumanie à abdiquer.

Le 11 juin 1948 le gouvernement de Groza a adopté la loi pour la nationalisation de l'industrie. Cette mesure a visé le remplacement de la propriété privée par la propriété publique dans l'industrie, les banques et les transports, mais aussi les hôtels, les magasins, les restaurants passent dans la propriété de l'état (Denize & Mata, 2005). A ce moment-là a été créé le Comité d'Etat de la Planification qui assurait le développement économique fondé sur le centralisme économique.

Selon le modèle soviétique une nouvelle forme d'organisation agricole, « la collectivisation », commence en 1949 (processus long qui a duré jusqu'en 1962). Des Coopératives Agricoles de Production (CAP) sont créées et L'Etat devient le propriétaire des terres agricoles qui sont réparties dans de grandes fermes (les paysans ont le droit de garder seulement des petites surfaces de moins de 0,15 ha). La région de Dobrogea a été déclarée en 1955 la première région collectivisée de Roumanie, mais cette action a été faite par la force. Cette politique ruine les villages et entraîne un exode rural massif vers les centres urbains.

Cette époque est aussi marquée par l'apparition des prisons dans le delta, où les opposants du régime sont amenés et forcés à travailler pour l'aménagement du delta, dans l'exploitation du roseau, la construction des digues, des canaux, des routes, mais aussi dans l'agriculture. On estime que le nombre total de prisonniers qui pouvait être reçus par les prisons et camps de travail du delta a été d'environ 10 000, chiffre qui représentait plus de la moitié des habitants du delta du Danube à l'époque.

En décembre 1961, en vertu du plan complexe d'aménagement élaboré par le Comité d'État des Eaux qui a adopté les propositions de la Commission des Monuments de la Nature, les premières réserves pour la conservation de la nature sont instituées. Le plan prévoit trois réserves naturelles : Rosca-Buhaiova-Hrecisca, Sfantul Gheorghe-Palare-Perisor et Periteasca-Leahova-Portita, d'une superficie de 33 500 ha, à laquelle s'ajoutent 800 ha pour les refuges de nidification, la migration et les réserves forestières de Letea (créée depuis 1938) et Caraorman.

Sur le plan international la Roumanie est membre fondateur du CAER, alliance économique des pays communistes, en 1949 et du Traité de Varsovie, alliance militaire des pays communistes, en 1955 (Denize & Mata, 2005). En 1958 Dej obtient le départ des armées russes du territoire roumain.

1960-1965 – Changement d'attitude par rapport à l'Union Soviétique

Dans ses dernières années, Dej fait des efforts pour se tourner vers « l'Ouest ». Il établit des relations commerciales en dehors du bloc communiste avec l'Allemagne de l'Ouest, la France, la Grande Bretagne et les Etats Unis. Il essaye d'établir une certaine indépendance du parti et du pays par rapport aux russes (Frunză, 1999). A partir de l'année 1962 les délégués de la Roumanie au CAER ont eu une position critique par rapport aux propositions de l'Union Soviétique.

Dej décède à Bucarest, le 19 mars 1965, d'un cancer des poumons. Sa maladie, qui a eu une évolution fulgurante, a été dépistée bizarrement après sa participation à l'étranger, en Pologne, en janvier 1965 à une conférence des pays membres du Traité de Varsovie.

1965-1971 – Ceausescu - le socialisme à visage humain

En mars 1965, trois jours après la mort de Dej, Nicolae Ceausescu est élu premier secrétaire du Parti Communiste Roumain. Ceausescu consolide sa position en se faisant élire, en 1967, président du conseil d'État. En politique étrangère, la popularité du régime Ceausescu sur la scène internationale est à son zénith : la Roumanie est le seul pays du bloc de l'Est qui ne participe pas à l'invasion de la Tchécoslovaquie par le Pacte de Varsovie en 1968 à la suite du Printemps de Prague (Boia, 1997). Du 14 au 19 mai 1968, Nicolae Ceausescu reçoit la visite du président français, Charles de Gaulle et en août 1969, celle du président américain Richard Nixon.

1971-1981 - Culte de la personnalité - Durcissement du régime

En 1971, Ceausescu se rend en visite officielle en République populaire de Chine, puis en Corée du Nord. Il est impressionné par les spectacles grandioses, organisés dans des stades, pendant lesquels les leaders de ces pays sont glorifiés. Il manifeste un grand intérêt pour l'idée de la « transformation nationale totale », telle que développée dans le programme politique du Parti du travail de Corée ou telle que l'avait mise en œuvre la Chine durant la Révolution culturelle (Frunză, 1999). Peu après son retour en Roumanie, il commence à imiter la dictature nord-coréenne, influencé par la « philosophie du Juche » du président Kim Il-Sung, faisant traduire en roumain, et largement distribuer dans le pays, divers ouvrages consacrés au

Juche et à la création idéologique de l'homme nouveau roumain, façonné à la fois par le communisme et l'héritage national (Boia, 1997).

Ceausescu est élu président de la République socialiste de Roumanie par la Grande Assemblée nationale de Roumanie en 1974 (réélu en 1980 et 1985). Il obtient de nombreux prêts des institutions financières occidentales (FMI, Banque Mondiale) qui permettent de financer des programmes de développement économique, mais qui déséquilibrent gravement les finances du pays. Dans cette période plusieurs grands projets sont réalisés : le Canal Danube-Mer Noire, Le Transfagarasan (une route de montagne traversant les Carpates), le métro de Bucarest, l'inauguration de la centrale des Portes de Fer I.

1981-1989 – Les restrictions et « l'isolationnisme »

En 1981 la Roumanie est dans l'incapacité de rembourser les crédits. La dette est de 13 milliards de dollars. Afin de rembourser cette dette, Ceausescu ordonne l'exportation d'une grande partie des productions industrielles et agricoles, et des matières premières. Il décide de payer la dette de façon anticipée, même si cela signifie de payer aussi des pénalités (Frunză, 1999). C'est l'époque des restrictions pour la population. Le chauffage, l'eau chaude, le gaz, les carburants et même la nourriture sont rationnés. Chaque famille a droit à un quota établi par l'état. Suite aux restrictions l'image externe de Ceausescu se détériore et il perd le soutien de l'« Ouest ».

Le 31 mars 1989 Ceausescu annonce le remboursement intégral de tous les crédits. La Roumanie est le seul pays au monde qu'ait jamais réussi à payer sa dette externe. En 9 ans la Roumanie a payé ce qui initialement était prévu pour 25 ans. Mais, au lieu de « rouvrir le robinet » vers la population, Ceausescu décide de garder les restrictions pour une mise à jour des technologies dans toutes les fabriques du pays afin de devenir compétitif sur le marché international (Frunză, 1999). La décision lui a été fatale. Une manifestation organisée à la demande de Ceausescu le 21 décembre 1989 à Bucarest, diffusée en direct à la télévision, se transforme en une démonstration de protestation contre le régime. Ceausescu est obligé de prendre la fuite en hélicoptère à partir du toit du bâtiment du Comité central. À cause du manque de carburant, le pilote pose l'hélicoptère dans la campagne. Ceausescu est capturé par la police et, ensuite, livré aux forces armées. Le 25 décembre 1989, à la suite d'un procès expéditif de 55 minutes rendu par un tribunal auto-proclamé, réuni en secret dans une base militaire à Targoviste, Nicolae Ceausescu et son épouse sont déclarés coupables de génocide, sont condamnés à mort et aussitôt fusillés.

3.2.5 La période post-communiste

En décembre 1989, la révolution roumaine conduit à la chute du régime communiste. Les travaux d'aménagement du delta du Danube sont arrêtés. En 1990 est fondée la Réserve de Biosphère du delta du Danube (ARBDD). Le territoire de la RBDD couvre 5 800 km² et comprend la partie roumaine du delta du Danube (3 510 km²), la plaine inondable en amont

du delta sur la rive droite du Danube (115 km²), le complexe lacustre Razim-Sinoie au sud du delta (1 145 km²) et les eaux côtières de la mer Noire jusqu'à 20 m de profondeur (1 030 km²).

La Réserve s'affilie au programme « L'Homme et la Biosphère » (MAB), ainsi qu'à la convention concernant les zones humides d'importance internationale – Convention RAMSAR de septembre 1991, et a été classée au patrimoine mondial de l'humanité de l'UNESCO pour sa biodiversité en 1991.

Selon la Loi nr.82/1993, l'Administration de la Réserve de la Biosphère du delta du Danube a pour objectif principal la gestion écologique du territoire de la réserve, la conservation et la protection du patrimoine naturel à valeur scientifique élevée, la promotion de l'utilisation durable des ressources naturelles et de la productivité des écosystèmes naturels, ainsi que la reconstruction écologique des habitats détériorés par les aménagements réalisés avant 1989.

Durant la période post-communiste, la Dobrogea souffre, sur fond de crise générale de l'économie roumaine. La disparition de la flotte commerciale roumaine, le déclin général de la navigation sur le Danube suite aux guerres dans l'ex-Yougoslavie, la perte de la position privilégiée du port de Constanta en tant que principal point de transit des exports roumains, ainsi que le déclin des activités touristiques de la mer Noire, ont affecté de manière négative l'économie de la Dobrogea.

La plupart des responsables dans toutes les institutions restent au pouvoir et la Roumanie se trouve dans un « régime semi-démocratique en évolution ». Le système fonctionne encore par inertie et les projets qui sont en cours sont poursuivis. C'est le cas aussi pour le delta du Danube. Les travaux dans la zone Sontea-Furtuna pour l'aménagement d'un polder agricole sont poursuivis quelques mois après la chute du régime. Le recouplement des méandres du bras Sf. Gheorghe sont également poursuivis jusqu'à leur finalisation en 1992.

Des projets de renaturation (« reconstruction écologique ») sont mis en place, des anciens aménagements qui ne sont pas rentables sont remis en eau.

3.3 La dynamique de la population, des villages et des groupes ethniques dans le delta du Danube

3.3.1 La dynamique de la population

Les difficultés rencontrées pour retracer l'histoire des populations dans la région de Dobrogea sont multiples. Dans certains recensements, l'unité de base prise en compte n'est pas l'individu mais la famille. Même si le nombre des familles présentes sur un territoire peut nous donner une image sur l'importance d'un certain groupe ethnique, l'absence de chiffres absolus rend difficile d'établir l'évaluation des proportions. Parfois les groupes ethniques sont associés, comme c'est le cas pour les slaves : à l'exception des bulgares, les autres (russes, russe-lipovènes, ukrainiens) sont regroupés. C'est aussi le cas des populations turques pour

lesquelles, parfois, les chiffres donnés concernent plusieurs groupes ethniques différents comme les turcs, les tatars et même les roms musulmans. Les modifications des limites administratives des départements et des communes dans le temps rend encore plus difficile la comparaison. A tous cela s'ajoute la destruction des archives pendant les conflits, comme c'est le cas des archives de Constanta, département situé au sud de la région de Dobrogea, durant la Deuxième Guerre mondiale. Nous pouvons toutefois avoir certaines statistiques ethniques pour le territoire étudié, car les statistiques de ce type sont autorisées en Roumanie, les questionnaires pour les recensements de la population comprenant des informations concernant l'ethnie et la religion.

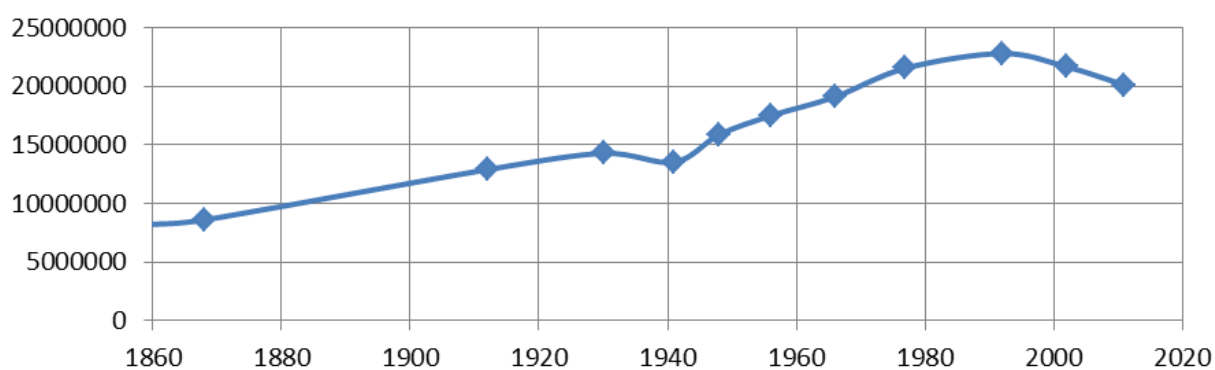
Selon les informations de l'Institut National de Statistique, 12 recensements de la population ont été conduits en Roumanie en 1859-1860, 1899-1900, 1912, 1930, 1941, 1948, 1956, 1966, 1977, 1992, 2002 et 2011. Nous n'avons des informations concernant le delta du Danube qu'à partir du recensement de 1899, car la Dobrogea a été annexée à la Roumanie seulement en 1878, après la Guerre d'Indépendance.

Une comparaison de l'évolution de la population au niveau de la Roumanie, de la région de Dobrogea, du département de Tulcea et du delta du Danube issue d'une compilation des données INS montre des tendances différentes (Fig.3.9).

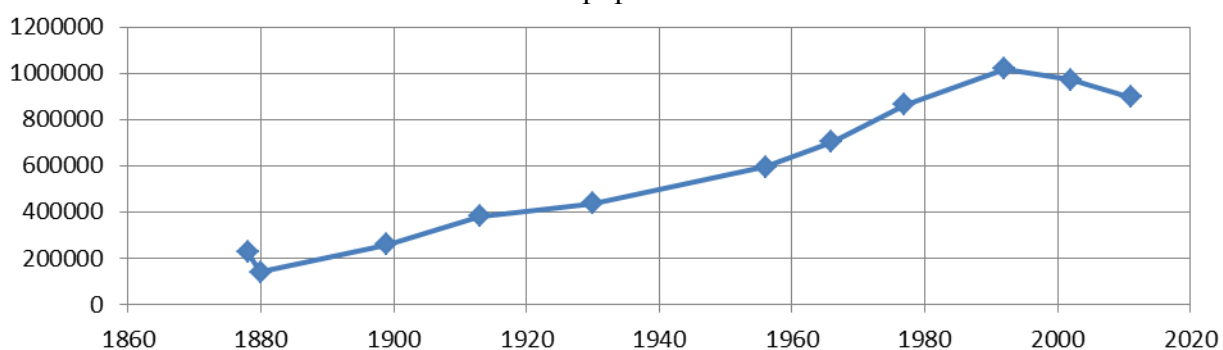
Il y a une tendance générale croissante pour la Roumanie (Fig.3.9 a), avec deux périodes de régression. Une première commence après 1940, moment marqué par la Deuxième Guerre mondiale et les pertes territoriales, parmi lesquelles se trouvent des territoires situés au sud de la Dobrogea en faveur de la Bulgarie, pertes associées bien-sûr à une perte de population. Pendant la période communiste, l'avortement a été interdit en Roumanie (Décret no.770 du 29 septembre 1966) ce qui a favorisé la croissance démographique. Une deuxième période de régression est marquée par la révolution roumaine de 1989, tendance maintenue jusqu'à nos jours. Cette inversion est liée à plusieurs facteurs. D'abord la légalisation de l'avortement (le 26 décembre 1989 - le quatrième décret du nouveau régime abroge le décret 770/1966) et ensuite une baisse de la natalité, qui n'a pas seulement des justifications législatives. Il y a aussi le phénomène de l'émigration, beaucoup de personnes partent pour travailler à l'étranger surtout après 2000, suite à l'intégration de la Roumanie dans l'Union Européenne (ONU, 2015).

La région de la Dobrogea (Fig.3.9 b) a une tendance constante croissante à partir de 1880, étant touchée seulement par la décroissance de la population au début des années 1990. Il est intéressant de remarquer que, malgré le fait que la partie sud de la région ait été cédée en 1940 à la Bulgarie, avec une population d'environ 400 000 habitants, cette perte ne se retrouve pas sur le graphique, compensée par l'installation dans la région des populations d'origine roumaine entre les recensements 1930 et 1941.

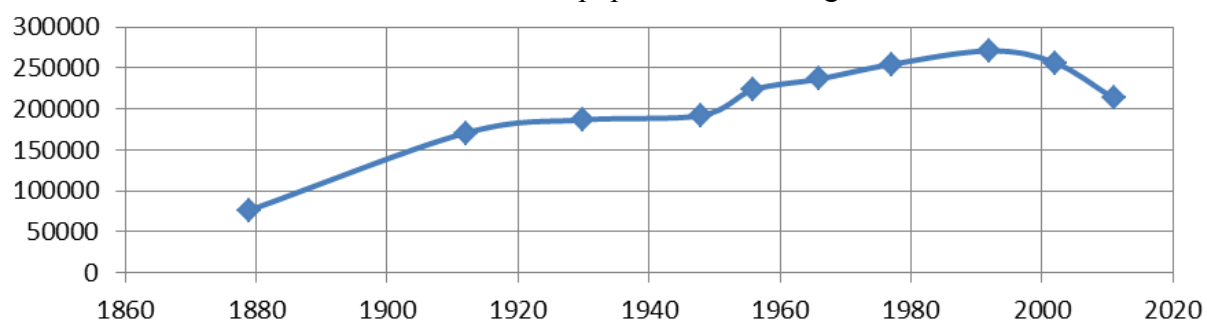
Le département de Tulcea (Fig.3.9 c) a une évolution un peu différente, avec une croissance importante de 1880 à 1912, ensuite une stabilisation jusqu'après la Deuxième Guerre mondiale, suivie par une croissance jusqu'en 1992. Après cette année nous retrouvons la même tendance décroissante enregistrée au niveau de la région et du pays.



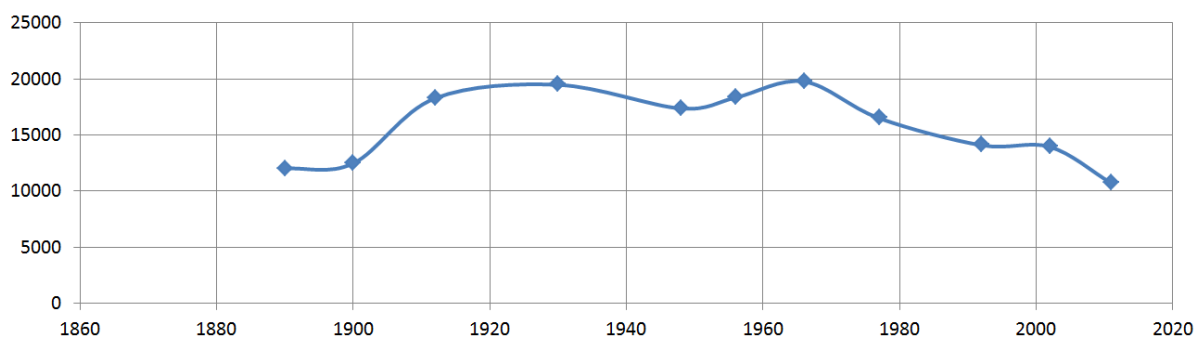
a. Evolution de la population - Roumanie



b. Evolution de la population - Dobrogea



c. Evolution de la population - Département de Tulcea



d. Evolution de la population - Delta du Danube

Fig.3.9 La dynamique de la population

L'évolution de la population dans le delta du Danube suit une courbe différente (Fig.3.4 d). Des données sur la population du delta sont disponibles à partir de 1890 et jusqu'en 1900 ne montrent pas une augmentation significative. Une croissance d'environ

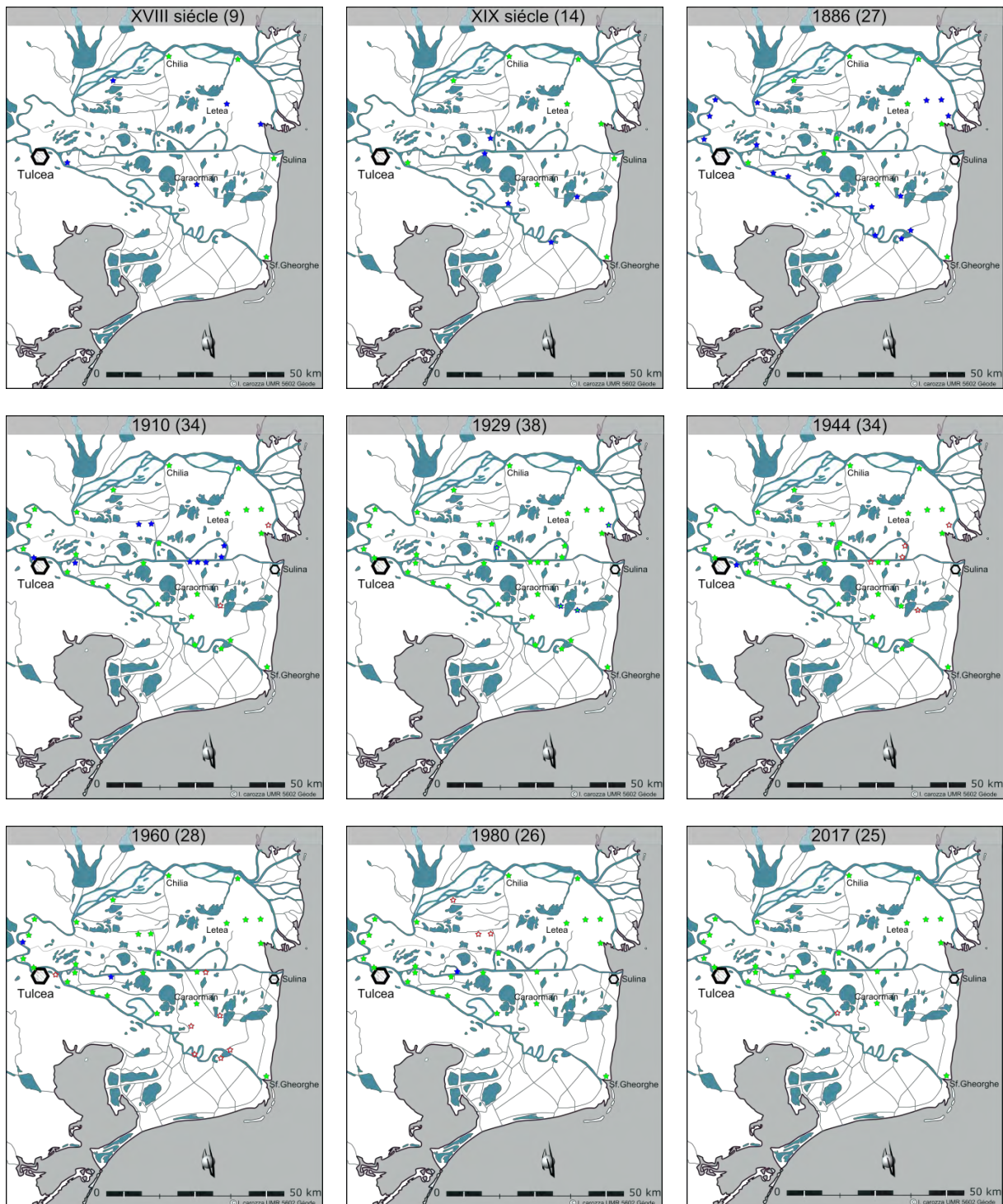
6 000 personnes est enregistrée jusqu'en 1912, ce qui représente la moitié de la population du delta en 1900. Cette période est associée à l'apparition de nouveaux villages dans le delta et l'installation de la population d'origine roumaine (Motoc, 2018). Il s'ensuit une stabilité jusqu'en 1930, voir une légère hausse, et une baisse du nombre d'habitants enregistrés au recensement de 1948, probablement liée à la Deuxième Guerre mondiale. Les données de population de 1956 et 1966 montrent une petite croissance, pour revenir au niveau maximal d'environ 20 000 personnes atteint par le nombre de la population dans le delta enregistré en 1930. Une baisse de la population du delta est enregistrée à partir de 1966, liée en partie à la disparition de certains villages, comme les deux villages situés sur la rive Stipoc, pour laisser place à des aménagements, mais aussi à la diminution de la ressource halieutique suite aux divers aménagements. La pêche traditionnelle était l'occupation principale de la plupart des habitants, qui ont été forcés de quitter le delta et de trouver un autre métier. Au contraire des tendances montrées par la Roumanie, pour la Dobrogea et le département de Tulcea la révolution roumaine marque une période de stabilité au niveau de la population entre 1992 et 2002. Même si l'activité dans beaucoup d'aménagements est arrêtée, les gens travaillant dans ces endroits ont trouvé d'autres sources de revenu. Certains retournent vers la pêche traditionnelle, d'autres s'orientent vers le tourisme en aménageant des maisons en pensions touristiques. Après 2002 la tendance décroissante remarquée au niveau du pays, de la région et du département s'observe aussi dans le delta, pour arriver, selon les chiffres du recensement de 2011, à 12 638 habitants, soit une densité d'environ 5 habitants/km².

3.3.2 L'évolution du nombre de villages dans le delta du Danube

Une analyse de l'évolution des villages du delta du Danube a été faite à l'aide des documents cartographiques. Ont été utilisées des cartes du XVIIIème siècle, XIXème siècle, 1886, 1910, 1929, 1944, 1960, 1980 et 2017 (Fig.3.10).

Avant le XVIIIème siècle l'échelle et la qualité des cartes ne permet pas de voir des détails sur le territoire du delta et de bien positionner sur la carte les villages existants. Généralement, les trois embouchures du Danube sont nommées (sous différents noms) sur les cartes (Sf.Gheorghe, Sulina et Periprava-Valcov), très probablement associées à des habitations installées dans cette zone de contact mer-delta. La ville de Chilia est aussi mentionnée pour la première fois sous ce nom au XIII siècle dans l'ouvrage du chroniqueur persan Rashid al-Din. Nombre de villages : 4.

A partir du XVIIIème siècle nous avons des cartes plus précises, même si elles ne sont pas complètes, toujours à cause de l'échelle. La morphologie ressemble à celle du delta d'aujourd'hui et nous avons de nouveaux villages qui sont représentés sur les cartes. Tatomir (Tatanir aujourd'hui) sur le bras de Chilia, Ilgany (Ilganii aujourd'hui) sur le bras de Sf. Gheorghe, Kisla (Cardon aujourd'hui) au bord de la mer Noire, Litya (Letea aujourd'hui) et Codrulnegro (Caraorman –forêt noire en turc - aujourd'hui) sur les deux grandes rides de sable, Letea au nord et Caraorman au sud. Nombre de villages : 9.



★ Village existant
 ★ Nouveau village
 ★ Village disparu
 Principales villes

Fig.3.10 L'évolution du nombre des villages dans le delta du Danube

Sur une carte turque du XIXème siècle nous trouvons des villages nouveaux : Gorgova sur le bras de Sulina, Caramusul (près de Sonda et ensuite Mila23 aujourd'hui) et Rosu au sud du bras Sulina et à l'est du Caraorman ; Basca (Litcov) et Pilsovc (Ivancea Veche plus tard) sur le bras de Sf. Gheorghe. Il y a quelques villages qui ne sont plus représentés sur cette carte du XIXème siècle, par rapport aux cartes du XVIIème (comme Tatomir sur le bras de Chilia,

ou Ilgany sur le bras de Sf. Gheorghe), mais comme ils apparaissent sur les cartes de la fin du XIX^{ème} siècle on peut penser à une continuité des habitations. Nombre de villages : 14.

Sur la carte de l'armée roumaine de 1886 on retrouve de nombreux nouveaux villages qui apparaissent sur les bras du Danube comme Patlageanca, Ceatalkioi, Satu nou (Plaurul aujourd'hui) et Pardin (Pardina aujourd'hui) sur le bras de Chilia ; Iolganu (Ilganii de Sus aujourd'hui) sur le bras de Sulina ; Carasuhat (Baltenii de Sus et Baltenii de Jos aujourd'hui), Uzlina, Kalinova, Ivancea Veche, Ivancea Noua sur le bras de Sf. Gheorghe. Nous avons aussi de nouveaux villages à l'intérieur du delta comme Satu Nou (C.A. Roseti aujourd'hui) et Svistofca (Sfistofca aujourd'hui) dans la zone de Letea ; Licvov au sud de Caraorman et Lumina au sud du bras Sulina et à l'est de Caraorman. Suite au commencement des travaux de la CED dans le delta sur le bras de Sulina le village situé à l'embouchure du bras devient la ville de Sulina et va garder ce statut jusqu'à aujourd'hui. Nombre de villages : 27.

Sur la carte de 1910 apparaissent encore de nouveaux villages, comme Regele Carol (Tudor Vladimirescu, aujourd'hui en face de Tulcea) et, surtout, des villages qui se sont installés sur le bras Sulina : Principele Carol (Partizani aujourd'hui) et Ceamurlia, Carmen Sylva et Floriile (Crisan aujourd'hui) qui sont situés sur les digues construites par la CED dans leurs travaux de recouplement de méandres. Flamanda et Torba Goala sont situés sur le dernier grand méandre du bras Sulina. Deux nouveaux petits villages sont situés sur la rive de Stipoc : Stipocul Vechiu et Principele Ferdinand. Nombre de villages : 34.

La carte de 1929 sur laquelle nous retrouvons le nombre le plus important de villages n'amène pas de grandes nouveautés, les différences par rapport à la carte de 1910 sont des villages qui ont existé avant et qui n'était plus représentés sur la carte en 1910, comme les deux villages Lumina et Rosu situés dans la région lacustre à l'est de Caraorman, un deuxième village, Sonda, à côté du village de Mila 23, et encore un village situé dans la région de Letea, Mosorali. Nombre de villages : 38.

Sur la carte de l'armée américaine de 1944 apparait une baisse du nombre de villages. Le petit village situé sur la rive de Letea (Mosorali), un des deux villages dans la région lacustre à l'est de la rive Caraorman (Rosu), les deux petits villages situés sur le dernier grand méandre du bras Sulina, Flamanda et Torba Goala. On note aussi la disparition d'un des trois villages situés sur la digue de la CED, Ceamurlia, mais en fait ce n'est pas une disparition car il a été intégré au village voisin, Carmen Sylva (Crisan aujourd'hui). On remarque aussi le déplacement du village Ilganii de Sus vers le Sud. Situé antérieurement sur un méandre coupé par la CED il arrive maintenant au bord du Danube, sur la rive gauche du bras Sulina. Nous retrouvons un nouveau village situé en face du Ceatal Sf. Gheorghe. Nombre de villages : 34.

Sur la carte de l'armée roumaine de 1960 on constate une baisse du nombre de villages. Le village Floriile est aussi intégré au village Crisan. On note la disparition des trois petits villages situés sur les méandres aval du bras Sf. Gheorgh, du village Litcov au sud de Caraorman ainsi que Lumina, à l'est de Caraorman. Nous avons aussi un seul village dans la région de Mila23 (intégration du village Sonda dans le village Mila 23 ?). On note aussi la disparition du village situé en face du Ceatal Sf. Gheorghe. Nombre de villages : 28.

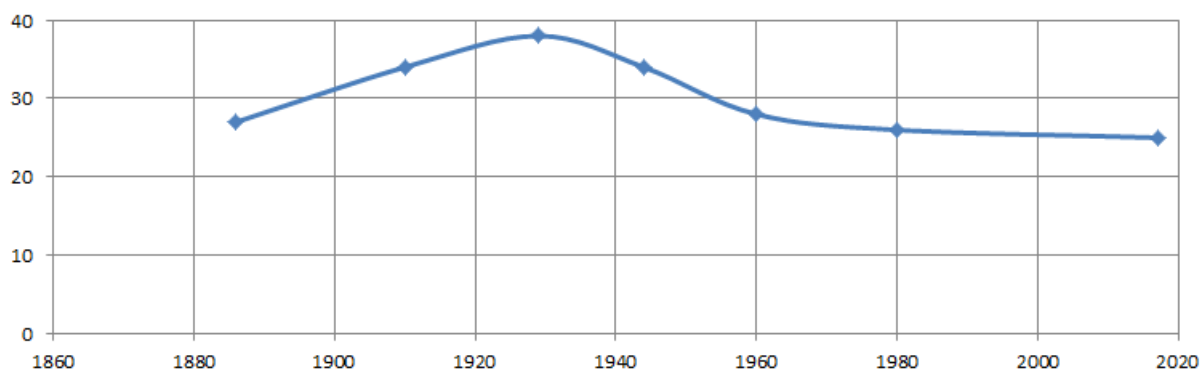


Fig.3.11 Evolution du nombre des villages - Delta du Danube

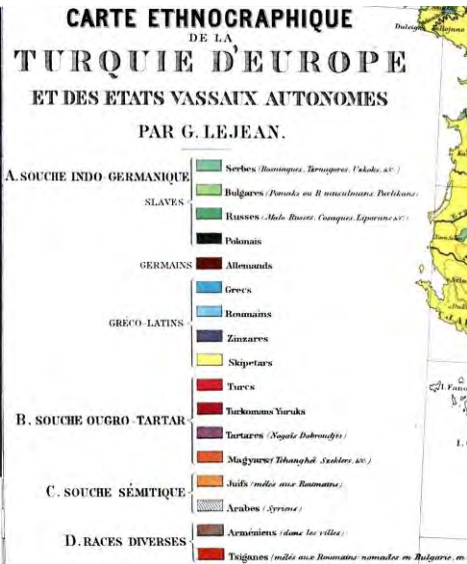
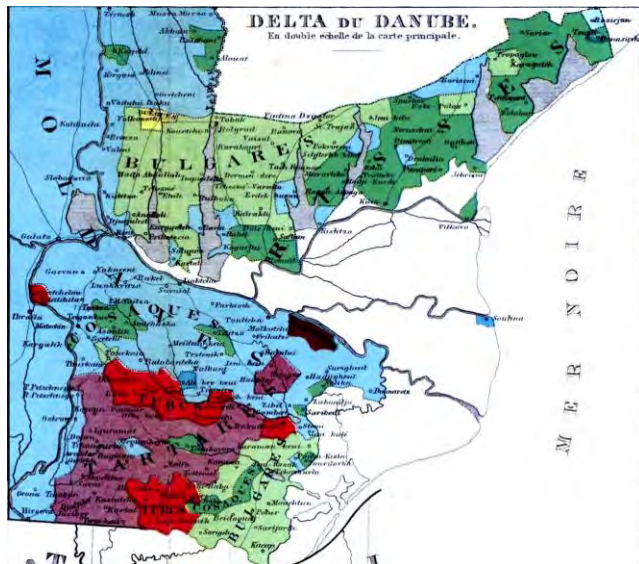
Sur la carte de l'armée roumaine de 1980 on constate à nouveau une baisse du nombre des villages. On note la disparition des deux villages sur la rive de Stipoc, suite à l'aménagement d'une ferme piscicole et aussi la disparition du village Tatanir, au Nord de la région de Pardina, sur le bras Chilia. Nous avons aussi l'apparition d'un nouveau village sur le bras de Sulina, le village Maliuc, suite aux aménagements communiste dans cette région. Nombre de villages : 26.

Aujourd'hui le nombre des villages dans le delta reste presque inchangé par rapport à la situation de 1980 (Fig.3.11). On note la disparition d'un seul village, le village Uzlina sur le bras Sf. Gheorghe, qui comptait en 2004 seulement 2 habitants et qui est à nos jours complètement abandonné par les habitants. Nombre de villages : 25.

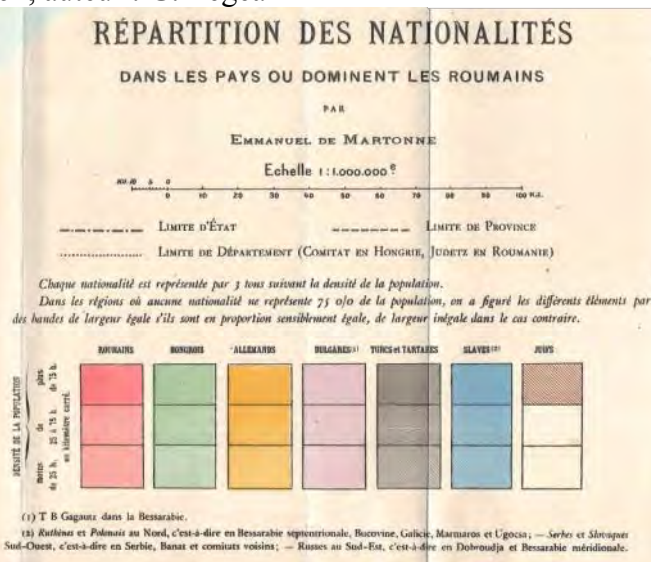
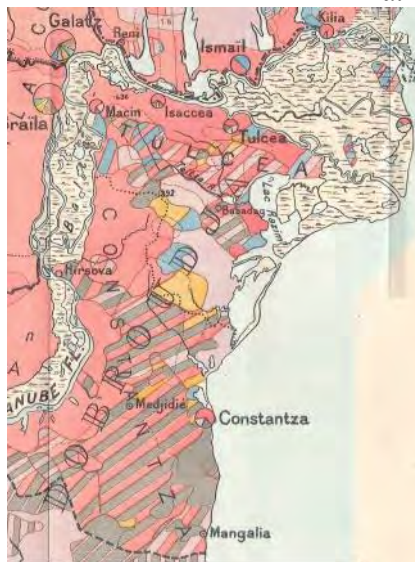
3.3.3 La dynamique de la structure ethnique

Le delta du Danube n'a pas été regardé comme une unité à part et les informations liées à ce territoire se retrouvent comprises dans la région dont il fait partie, la Dobrogea. Un manque d'hétérogénéité des données au fil du temps rend impossible de mener une reconstruction exacte de l'évolution des différents groupes ethniques dans la Dobrogea. Des informations concernant les populations de cette région viennent de sources différentes, turques, russes, même autrichiennes, et bien-sûr roumaines, mais il faut toujours avoir un regard critique sur ce type des données pour cette région si disputée par les différents empires et pays.

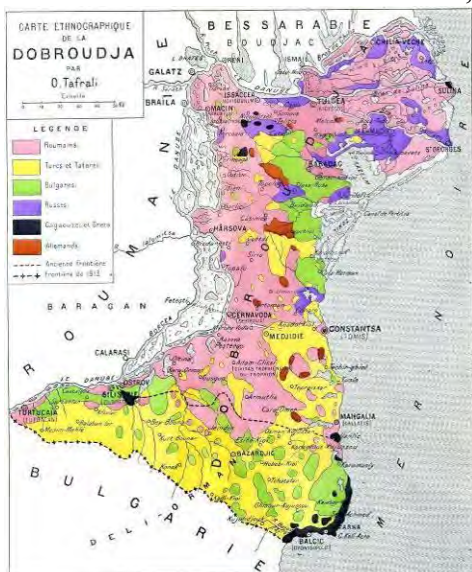
Sur la carte ethnographique de 1861 réalisé par G. Lejean (Lejean, 1861) (Fig.3.12 a.) le territoire du delta du Danube est représenté comme inhabité, à l'exception de deux îlots de populations situés à l'embouchure des Bras Sulina (grecs) et Chilia (russes). La carte ethnographique de Carl Sax en 1877 (Sax, 1877) (Fig.3.12 b.) nous montre un delta roumain avec les russes situés au nord du Bras Chilia et une île de population tatare au sud.



a.1861, auteur : G. Lejean



d.1920, auteur : Emm. De Martonne



c.1918, auteur : O. Tafrafi



b.1877, auteur : Carl Sax

Fig.3.12 Cartes ethnique de la Dobrogea

Une autre carte ethnographique de 1918 réalisée par O. Tafrali (Tafrali, 1918) (Fig.3.12 c.) nous présente un delta habité par les roumains, avec plusieurs îles formées par la population russe sur les grands rades Chilia, Letea et Caraorman, mais aussi au sud du Bras Sf. Gheorghe ainsi que dans sa zone d'embouchure. D'autres noyaux de population d'origine russe se trouvent dans la partie fluviale du delta, près de l'apex, au nord du Bras Sulina dans sa partie centrale et aussi au sud du Bras Chilia dans la région de Pardina.

Une quatrième carte réalisée par E. De Martonne en 1920 (De Martonne, 1920) (Fig.3.12 d.) nous donne à nouveau l'image d'un delta inhabité dans sa grande partie, avec seulement quelques îlots de population roumain et slaves à Chilia, Letea et Caraorman. A Sulina, à part les roumains et les slaves, il y a aussi une importante population juive.

Présenter la majorité du territoire du delta du Danube comme inhabité ne semble pas être une grande erreur, car aujourd'hui encore, comme dans le passé, les villages sont situés sur les grandes rades Chilia, Letea et Caraorman et surtout au long et aux embouchures des trois bras Chilia, Sulina et Sf. Gheorghe. Ionescu (1904) estime qu'au début du XXème siècle environ 82 % de la population du delta était localisée sur les trois grands bras du Danube, le reste du territoire étant quasiment tout le temps sous l'eau et donc inhabitable. En regardant d'autres cartes, on sait qu'il y avait d'autres groupements de maisons dans le delta qui ne sont pas représentés sur les cartes de 1861 et 1920. De la même manière sur les cartes ethniques de 1877 et 1918, on observe une surreprésentation des populations d'origine roumaine et russes, car pour la totalité du territoire deltaïque on a attribué des couleurs, y compris dans les régions qui sont en permanence sous l'eau.

Les Roumains

La présence des populations d'origine roumaine est constante sur ce territoire. Même si les guerres russo-turques au XIXème siècle ont provoqué l'émigration de 11 652 familles de la Dobrogea vers la Principauté de Valachie vers 1838 (Razvan, 2009). Suite à la guerre d'Indépendance de 1878, qui a rattaché la région de la Dobrogea à la Roumanie, une politique de colonisation des populations d'origine roumaine est mise en place. Les vétérans de guerre ont des avantages et ils reçoivent des terres pour s'installer dans cette région et renforcer la présence des roumains (Vicol&Dumitrascu, 1997).

L'état roumain, suite au constat que le delta était peuplé presque exclusivement par des populations d'origine russe, a essayé une colonisation avec des éléments roumains (Echim, 1995). La Création de la CED et l'aménagement du Bras Sulina pour la navigation est une bonne occasion et de nouveaux villages apparaissent sur les berges du bras, comme Ilganii de Sus, Partizani, Ceamurlia, Vulturu, (Radulescu & Bitoleanu, 1998) qui sont peuplés en majorité par des roumains.

Dans la période entre les deux guerres mondiales, la population roumaine en Dobrogea enregistre une évolution ascendante due à la natalité, mais aussi à la continuation des politiques de colonisation. Il existe des situations où les surfaces disponibles deviennent insuffisantes pour les nouveaux arrivés, notamment dans la région du delta du Danube (AHT, 261/1939).

L'échange de population entre la Roumanie et la Bulgarie en 1940 a renforcé encore une fois l'importance de la population roumaine dans la région. Entre 80 000 – 100 000 roumains sont arrivés dans la Dobrogea au détriment des 65 000 – 70 000 bulgares, dont 45 000 du département de Tulcea, qui ont quitté la région.

En 1878, au moment de l'annexion de la région de la Dobrogea par la Roumanie, les roumains étaient une population minoritaire, ne représentant que 21%, dépassés par les turcs avec 21,6% et les tatars 31,5%. Le nombre des roumains commence à augmenter petit à petit : ils arrivent à 31% en 1880, et à 46% en 1899. Ils dépassent les 50% en 1913 avec 56,6%, 64,7% en 1930, 86,6% en 1956, et 88,7% en 1966. En 1977 le pourcentage dépasse les 90%, avec 90,9% et reste assez stable jusqu'en 2002 : 90,8% en 1992 et 90,9 en 2002. On constate une légère baisse au dernier recensement en 2011 avec un pourcentage de 83,7%. Cette légère baisse, enregistrée aussi au niveau des autres groupes ethniques (Fig.3.8) est lié à la baisse de la natalité enregistrée au niveau national, mais aussi au déplacement de la population vers des villes plus grandes et vers d'autres pays.

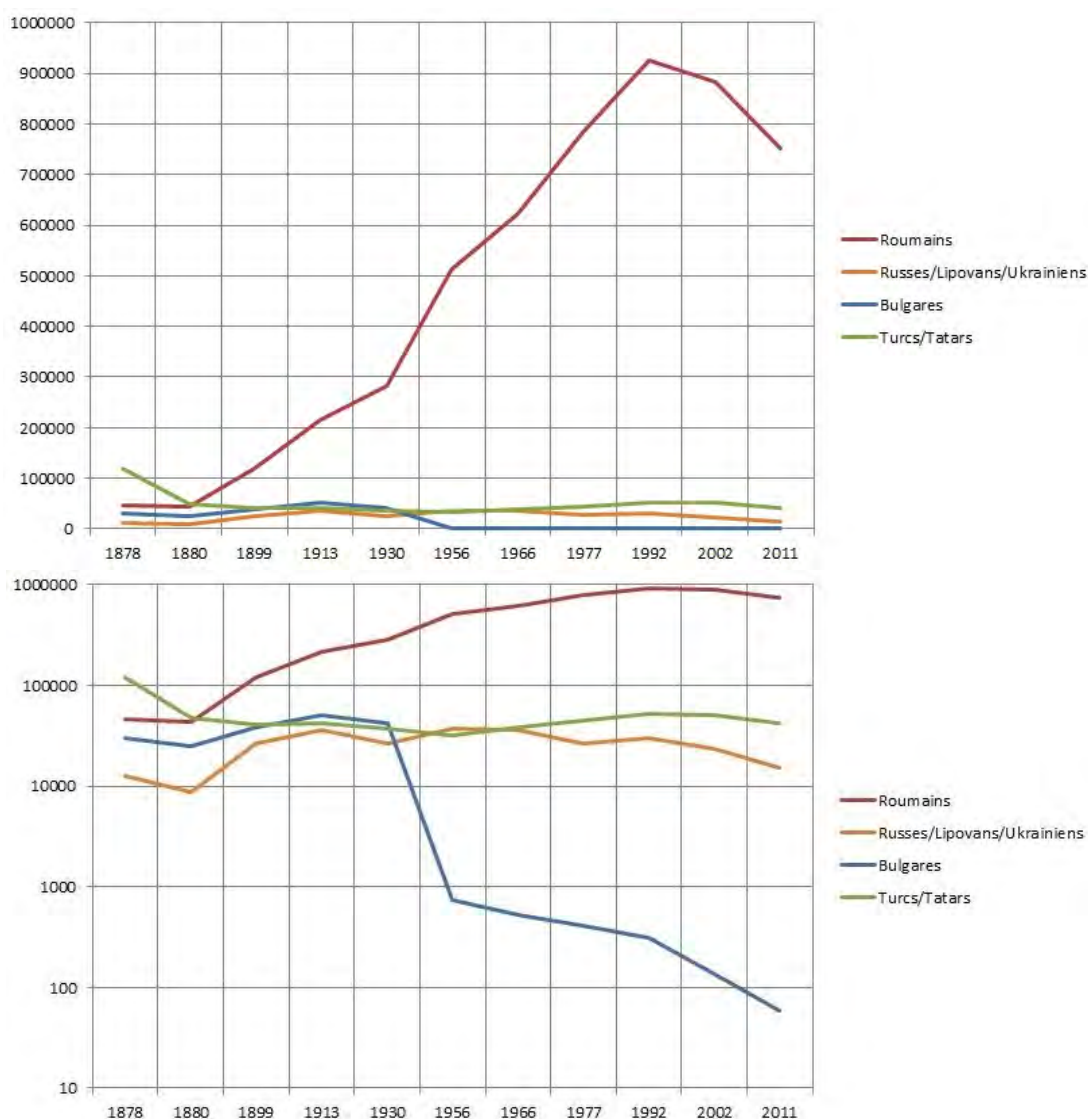


Fig.3.13 L'évolution des principaux groupes ethniques en Dobrogea entre 1878 et 2011 (graphique linéaire et graphique logarithmique)

Les Turcs

Après leur arrivée dans la région au XV^{ème} siècle (Iorga, 1940) suite aux différents événements déclencheurs, plusieurs vagues de populations d'origine turque se sont installées dans la Dobrogea. A partir de 1785, du fait de l'arrivée des russes, des populations turques et tatares sont chassées des steppes de la mer Noire et une partie s'installe dans la région de Dobrogea (Razvan, 2009).

Après la guerre de 1829, quand les russes récupèrent le delta du Danube, la population turque quitte le delta pour s'installer plus au sud dans la Dobrogea. Entre 1855 et 1861, 76 000 tatars sont installés en Dobrogea pour servir comme combattants dans les guerres contre les russes et contre d'autres pays chrétiens (Colcer&Magureanu, 1998). Environ 200 000 personnes de religion musulmane de la région des monts Caucase sont expulsées à nouveau par les russes et cherchent abri dans l'Empire ottoman. En 1862 environ 10 000 d'entre eux se sont installés en Dobrogea (Razvan, 2009).

Après la guerre de 1877, quand la Dobrogea devient roumaine, pour ne pas se retrouver dans un pays chrétien, de nombreux turcs quittent la région. La proclamation de la République Turque sous la direction du président Mustafa Kemal Atatürk a marqué le départ d'une politique pour attirer les populations d'origine turque dans un seul pays. Le nouvel état turc, confronté à un déficit de population, a soutenu et financé le rapatriement des peuples turcs des Balkans et, à cette période, un nombre important quitte la Dobrogea.

Les turcs et tatares représentaient la population dominante du Dobrogea en 1878 avec presque 120 000 habitants (53,1%), mais leur nombre diminue à moins de 50 000 en 1880 avec une proportion de 33% et malgré le fait que leur nombre va osciller autour de la valeur de 40 000, leur importance dans la population de la région va diminuer suite à l'augmentation des roumains. Ils représentant 15% en 1899, 11,1% en 1913, 8,6% en 1930, 5,4 en 1956, 5,4% en 1966, 5,1% en 1977, 5,1% en 1992, 5,2% en 2002 et 4,7% en 2011.

Les Russes

Une première vague de populations d'origine russe, les ukrainiens, arrive en Moldavie et en Dobrogea après la bataille de Poltava, en 1709 (Razvan, 2009). Les lipovènes qui arrivent s'y installent à partir de 1740, suite aux persécutions du tsar Pierre le Grand et de la tsarine Catherine la Grande et ils sont mentionnés au sud du delta, à Sarichioi, pour la première fois en 1762. En 1775, après la liquidation de l'armée cosaque par Catherine la Grande une nouvelle vague russe arrive en Dobrogea.

Suite à la guerre de 1812 l'Empire russe s'installe au nord du delta du Danube et mène une politique de colonisation des populations russes dans ce territoire. Ici s'installent donc des bulgares, mais aussi des russes. Les guerres contre l'Empire ottoman de 1817 et de 1829 font avancer la frontière entre les deux empires encore plus vers le sud, d'abord sur le Bras Sulina et ensuite sur le Bras Sf. Gheorghe. La population d'origine turque qui quitte le delta est remplacée par des russes.

Une dernière vague arrive entre 1828 et 1861, composée par des réfugiés, des agriculteurs, pêcheurs et soldats. Après l'intégration de la Dobrogea, avec le delta du Danube, dans la Roumanie la population d'origine russe reste en place et ils sont encore majoritaires dans certains villages jusqu'à nos jours.

Les populations d'origine russe (les russes, les lipovènes, les ukrainiens) représentent en 1878 12 748 habitants, soit 5,6%. Après une petite baisse en 1880 à moins de 10 000, mais avec un pourcentage de 6,3%, leur nombre commence à augmenter à plus de 25 000 en 1899, ce qui représenté 10%, à plus de 35 000 et 9,4% en 1913. Après cette date on voit leur pourcentage diminuer, à 6% en 1930, 6,18% en 1956, 5,1% en 1966, 3,1% en 1977, 3% en 1992, 2,3% en 2002 et 1,7% en 2011. Les populations d'origine russe sont localisées surtout dans la moitié nord de la Dobrogea et beaucoup dans le delta du Danube.

Les Bulgares

Les bulgares sont arrivés autour de 600 au sud du Danube et après 680 toute la Dobrogea devient partie de l'Empire bulgare. Avec l'arrivée des turcs, leur nombre a diminué, mais leur importance dans la région est renforcée grâce à l'influence des russes. Après 1812 et l'installation de l'Empire russe au nord du delta, une politique de colonisation est menée, qui conduit à l'installation des populations bulgares dans cette région.

Suite au Traité de Craiova, signé entre la Roumanie et la Bulgarie le 7 septembre 1940, selon lequel la Roumanie cède à la Bulgarie la partie sud de la Dobrogea, un échange de population se fait et un nombre important de bulgares quitte la région. Les bulgares, localisés dans la région centrale du Dobrogea (Fig.3.7), ont représenté une partie assez importante de la population de cette région, avec 13,3% en 1878 et même 17% en 1880, mais leur nombre commence à diminuer : 14% en 1899, 13,4% en 1913, et 9,6% en 1930. Après cette date leur nombre diminue et dans les recensements suivants, entre 1856 et 2011 ils représentent moins de 1%.

D'autres populations ont fait partie et sont encore présentes dans la mosaïque ethnique de la Dobrogea, comme les allemands, les grecs, les roms ou bien les juifs dans certains recensements, mais les pourcentages n'ont jamais dépassé les 3%.

Pour le delta du Danube nous retrouvons des données de population, selon une appartenance ethnique plus claire, sur une carte des nationalités de la Dobrogea de 1913 (Fig.3.14 a). La population d'origine russe est majoritaire dans le delta, à l'exception de Sulina, où les grecs sont les plus nombreux et Principele Carol (Partizani aujourd'hui) où les roumains sont dominants.

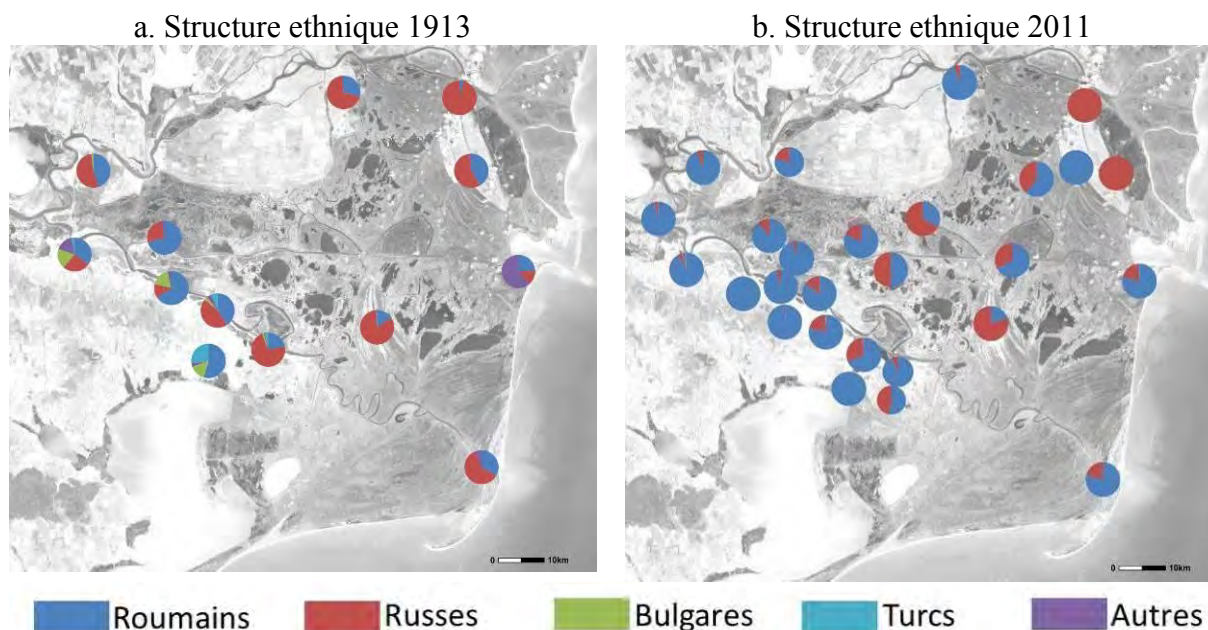


Fig.3.14. Evolution de la structure ethnique du delta du Danube 1913-2011

Selon les données de population au niveau des communes, issues du dernier recensement de 2011 (Fig.3.14 b), à ce jour les roumains dominent le delta. Toutefois il existe encore des villages, comme Periprava, Sfistofca, Caraorman et Mila23 où les russes sont majoritaires, et d'autres villages comme Letea, Crisan, Gorgova, Sf. Gheorghe, Pardina, Dunavatul de Jos et Murighiol, dans lesquels la population d'origine russe reste encore importante.

Conclusion du chapitre 3

Le delta du Danube abrite, au-delà d'une très riche biodiversité, un patrimoine archéologique et historique qui incite encore les chercheurs. Ce n'est que très tardivement, bien après la création de la réserve de Biosphère Delta du Danube, qu'ont été pris en compte le patrimoine historique et le rôle tenu par les sociétés humaines dans la transformation des écosystèmes du delta. Dans ce contexte, il convient de mentionner que les recherches archéologiques, dans leur dimension interdisciplinaire, contribuent à mieux documenter dans la longue durée historique l'évolution de la flore, de la faune, du climat, de l'hydrologie, des paysages ainsi que l'impact des sociétés humaines sur l'environnement. (Carozza et al., 2011, 2014).

Le Danube a été depuis le Néolithique une voie de circulation en Europe, constituant un courant européen majeur pour la propagation de la néolithisation, depuis la région du Bas-Danube jusqu'au nord de la France.

Jusqu'au XIXème siècle, sa population demeure faible, voire imperceptible, et les activités économiques qui y sont pratiquées se limitent à une pêche artisanale. Mais le delta

du Danube, et la porte d'entrée qu'il représente entre l'Europe et l'Orient via la mer Noire, est principalement au cœur d'enjeux stratégiques grâce à la navigation fluviale.

L'instabilité politique de la région a dicté dans le temps une fluctuation de la population, voire parfois un abandon total du delta, et un changement de la proportion des différents groupes ethniques. Les habitants du delta d'aujourd'hui sont issus de 17 groupes ethniques différents qui coexistent dans la région depuis des siècles (Parau, 2011). A partir d'une population locale d'origine thrace, on note l'installation grecque et ensuite romaine, l'arrivée des vagues des peuples migrants, suivis par les guerres russo-turques. La guerre de Crimée et l'installation de la CED ont amené un peu plus de stabilité, mais le delta est encore touché par la guerre d'Indépendance, quand la Roumanie devient propriétaire du territoire, et enfin par les deux guerres mondiales. La question de la frontière entre la Roumanie et l'Ukraine revient d'actualité après la chute des régimes communistes de l'ancien bloc soviétique en 1991, quand la Roumanie demande à l'Ukraine plusieurs îles situées sur le Bras Chilia, ainsi que l'île des Serpents localisée dans la mer Noire. Le litige est porté devant la Cour Internationale de Justice de La Haye en 2004, qui va trancher la question de la frontière entre les deux pays dans la mer Noire en 2009 (CIJ, 2009).

Les aménagements ont eu parfois un effet positif sur le nombre d'habitants du territoire, comme l'apparition de nouveaux villages sur les rives du Bras Sulina, suite aux travaux réalisés par la CED, ou négatif comme c'est le cas de la disparition des habitations dans la période des aménagements d'après la Deuxième Guerre mondiale.

Chapitre 4

Etat des connaissances sur la formation et l'évolution du delta du Danube

L'évolution du delta du Danube est l'objet de discussions et controverses depuis la seconde moitié du XIX^{ème} siècle, aussi bien par les chercheurs roumains (Ionescu-Dobrogeanu, 1909, 1921, 1938 ; Antipa, 1910, 1914 ; Murgoci, 1912 ; Bratescu, 1912, 1921, 1923 ; Petrescu, 1948, 1957, 1975 ; Cotet, 1960, 1971 ; Liteanu et al., 1961 ; Liteanu & Pricajan, 1963 ; Popp, 1965 ; Airinei, 1966 ; Panin, 1972, 1974, 1989, 1997, 2003 ; Giosan et al., 2006 ; Vespremeanu et al., 2016a, 2016b, 2017), qu'étrangers (Desjardins, 1868 ; De Martonne, 1931 ; Slanar, 1945 ; Pfannenstiel, 1950 ; Zenkovich, 1956 ; Almazov et al., 1963 ; Carozza et al., 2011, 2012, 2013) qui ont manifesté un intérêt pour reconstituer l'histoire du delta du Danube. Cependant, il a fallu attendre les travaux d'aménagements de la Commission Européenne du Danube (CED) en 1856 pour que les premiers travaux scientifiques soient menés en liaison avec l'apport des données de terrain acquises par les ingénieurs européens après le traité de Paris mettant fin à la guerre de Crimée (Grande Bretagne, France, Royaume de Prusse, Empire d'Autriche, Sardaigne). Les levés cartographiques de bonne précision ont ainsi pu être réalisés (CED, 1856, 1871, 1886). Si leur finalité première est l'aménagement du Danube pour la navigation, ils ont constitué pour nous une source d'informations précieuse pour comprendre l'évolution de cet espace. A ces données s'est ajoutée la carte de l'état-major de l'armée roumaine de 1886, qui offre une première image détaillée de l'intérieur du delta. En 1910, G. Antipa, avec l'aide de l'ingénieur I. Vidrascu, propose une nouvelle carte plus complète, dans laquelle l'intérieur du delta est encore mieux représenté. Ces cartes marquent le point de départ des théories proposées pour la construction du delta du Danube.

4.1 Les travaux pionniers

E. Desjardins (1868) expose les résultats de ses observations géographiques et archéologiques, liées à son voyage dans la région du bas Danube, dans trois lettres adressées à l'Académie des Sciences. Parmi ses remarques, certaines concernent l'évolution du delta. Il est le premier à recourir, dans la tradition des historiens classiques, à l'utilisation des textes antiques, notamment ceux de Strabon, Pline l'Ancien, Ptolémée et Ravennate. Il discute également à partir de la carte nommée « Table de Peutinger », un document cartographique datant de l'époque romaine, l'évolution de la position des embouchures qu'il estime à vingt kilomètres à l'intérieur de la côte actuelle. Sur cette base, il estime la surface progradée par le delta en 14 siècles à près de deux mille kilomètres carrés. Prenant en compte cette progradation, l'auteur calcule la quantité de limons charriée par le Danube, quantité égale d'après lui à soixante millions de mètres cubes par an, trois fois plus que le Rhône, le débit du

Danube étant, exactement dans la même proportion, trois fois plus considérable que celui du Rhône.

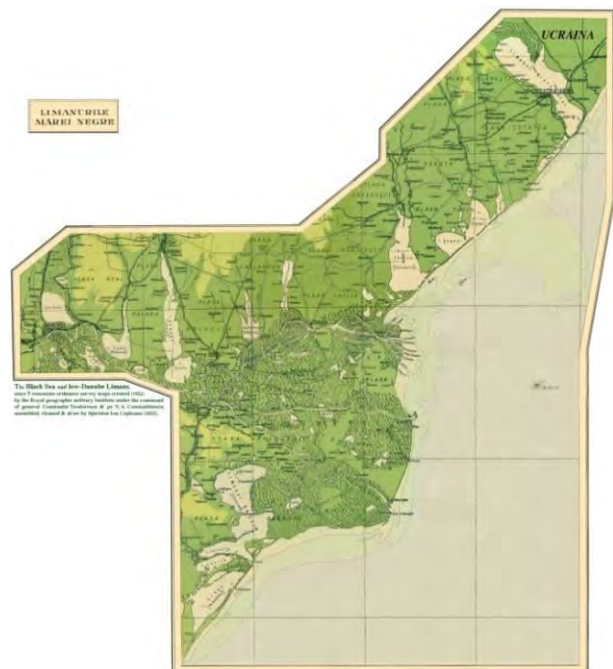
Desjardins dresse l'image d'un delta formé par un liman fluvial (Fig.4.1), c'est-à-dire une lagune située à l'embouchure d'une rivière fermée par un cordon littoral, qui prograde sur la mer par l'apport des seules alluvions transportées par le fleuve. Ce faisant, il néglige la dimension marine du delta, notamment le transit sédimentaire nord-sud et la redistribution sédimentaire par la dérive littorale.

M.D. Ionescu-Dobrogeanu (1909, 1921, 1938) s'est plus particulièrement focalisé sur les terres nouvelles récemment gagnées sur la mer : le bras de Chilia et l'île Sacalin qu'il est le premier à mentionner. A partir de ses observations sur la formation de cette dernière au cours d'une tempête de la mer Noire en 1897, il envisage une formation du delta par comblement d'une vaste baie isolée par un cordon littoral. Il est ainsi le premier à envisager les interactions entre dynamique fluviale et dynamique littorale dans la formation du delta.

Si ces auteurs pionniers se sont surtout focalisés sur les mécanismes de formation, **G. Antipa** (1910 et 1914) aborde la question de la chronologie de l'évolution du delta. Il considère que le delta du Danube est un des deltas les plus récents si on le compare aux deltas des autres grands fleuves du monde, car son organisation est moins « complexe » et donc plus facile à étudier (Antipa, 1914). Dans le prolongement des travaux de Ionescu-Dobrogeanu, il propose un colmatage progressif d'une lagune isolée par un cordon littoral par les apports fluviaux du Danube, le niveau du plan d'eau se situant sous le niveau marin, à l'image des « limans » ukrainiens actuels (Fig.4.1 b)



a Le cordon littoral initial
Source : Antipa, 1941



b Les limans fluviaux de la mer Noire
Source : Cepleanu, 1922

Fig.4.1 Les travaux pionniers

L'auteur identifie, à partir de Jibrieni, située dans le nord du delta, un vieux cordon littoral de direction NNE-SSW, traversant Periprava, la partie ouest de la Ride Letea, la Ride Raducului, la Ride Ceamurlia, la partie ouest de la Ride Caraorman et, après une lacune, un peu plus au sud, la Ride Dranov, poursuivie par Bisericuta et la Ride Lupilor (Fig.4.1 a) jusqu'à Histria. Selon lui, ce cordon a été percé par les eaux du fleuve à six endroits, constituant six embouchures fluviales : à Periprava par le Bras Chilia ; dans l'ouverture située entre les rides Raducului si Ceamurlia par le Bras Sulina ; au sud de la ride Caraorman par le Bras Sf. Gheorghe ; dans l'ouverture située entre les rides Dranau et Crasnicol ; entre l'île Bisericuta et la Ride Lupilor et au nord de l'ancienne cité de Histria. Antipa précise l'ordre dans lequel les trois bras du Danube sont arrivés au cordon littoral initial : Sf. Gheorghe en premier, suivi de celui de Sulina et de Chilia. Selon lui, les rides de sable de Letea et Caraorman, formées à l'est du cordon initial seraient dues aux vents dominants venant du nord-est et de la mer. La Ride Saraturile serait postérieure à la ride principale et la Ride Chituc, constituerait le dernier stade d'évolution.

Le modèle proposé par Antipa repose sur une séparation des actions fluviales et marines et fait une place importante aux actions éoliennes au détriment de la dérive littorale.

Ce modèle est discuté par **C. Bratescu** (1912, 1921, 1923) qui s'appuie sur une vision actualiste. Pour lui, la formation du delta dans un ancien golfe de la mer Noire, est la conséquence des apports sédimentaires des embouchures du fleuve, qui alimentent la dérive littorale. Il postule que la progradation des lobes est la conséquence de l'équilibre entre les apports sédimentaires et leur redistribution par la dérive littorale. Ainsi, pour lui, les lobes de Chilia et Sf Gheorghe n'auraient que peu progradé en raison du plus faible débit des bras concernés. Ici on voit les limites de son modèle, car le lobe de Chilia, qui est de nature majoritairement fluviale, a aujourd'hui bien avancé dans la mer Noire. Il pointe également pour la première fois les possibles effets des aménagements des canaux Sontea, Rusca et Litcov à l'intérieur du delta, sur la dynamique des embouchures.

G. Murgoci (1912), quant à lui, insiste sur le rôle des héritages géomorphologiques et des formes liées à l'incision puis à leur ennoisement progressif lors de la remontée du niveau marin sur les dynamiques deltaïques. Les paléo-reliefs expliqueraient aussi bien la position de l'apex du delta dans une zone de resserrement rocheux que l'existence des rides sableuses de Letea et Caraorman. Il propose également une chronologie de l'évolution des chenaux distributaires du Danube. Le Bras Sf. Gheorghe serait une structure pérenne qui aurait peu évolué depuis le début de la progradation. A l'inverse, le bras de Sulina aurait migré vers le nord pour contourner la Ride Caraorman, alors que le Bras Chilia a contourné par le sud la Ride Chilia dans un premier temps, avant de percer cette ride au nord. Murgoci estime l'âge du delta à deux millénaires au plus, les dunes de sable de Caraorman à 1500 ans et la formation des dunes de sable de Letea, probablement liées à une forte sécheresse, à il y a 200 à 300 ans. Si les dates proposées par cet auteur semblent fantaisistes, on retiendra de sa théorie l'hypothèse que le Bras Chilia a dû contourner vers le sud la Ride Chilia, avant de la percer au nord. Ce rôle essentiel des paléo-reliefs a été repris et généralisée par **Mihailescu** et **Banu** (1958).

L'hypothèse d'une baie/lagon fermée progressivement, remplie par les apports fluviaux, est reprise par **De Martonne** (1931). Cet auteur suggère que les évolutions dans la progradation des lobes seraient liées aux modalités de la répartition du débit dans les bras distributaires. Il propose un modèle de formation du delta d'origine essentiellement fluviale, mais prend aussi en compte la force d'érosion du courant littoral de la mer Noire (formation des cordons).

Si jusque dans les années 1930 les modèles proposés insistent sur les processus de formation et la chronologie relative, basée sur les relations géométriques entre les lobes, l'immédiat après-guerre voit les premières tentatives pour insérer la formation du delta dans la chronologie du Quaternaire, suite aux travaux menés dans les Alpes.

G. Valsan (1935, 1936) pense que les rides Letea, Caraorman, Saraturile, situées dans la partie est du delta sont le résultat de l'actions des courants et des vagues de la mer sans l'intervention du fleuve. Il voit la Ride Letea connectée avec les rides situées au nord de l'embouchure du Bras Sf. Gheorghe, dans un grand complexe de cordons littoraux et des lagunes de type double-tombolo (Fig.4.2), construites sur une vaste plage submergée, ayant comme point d'appui l'île de Serpents, située actuellement à environ 40 km à l'est de Sulina.

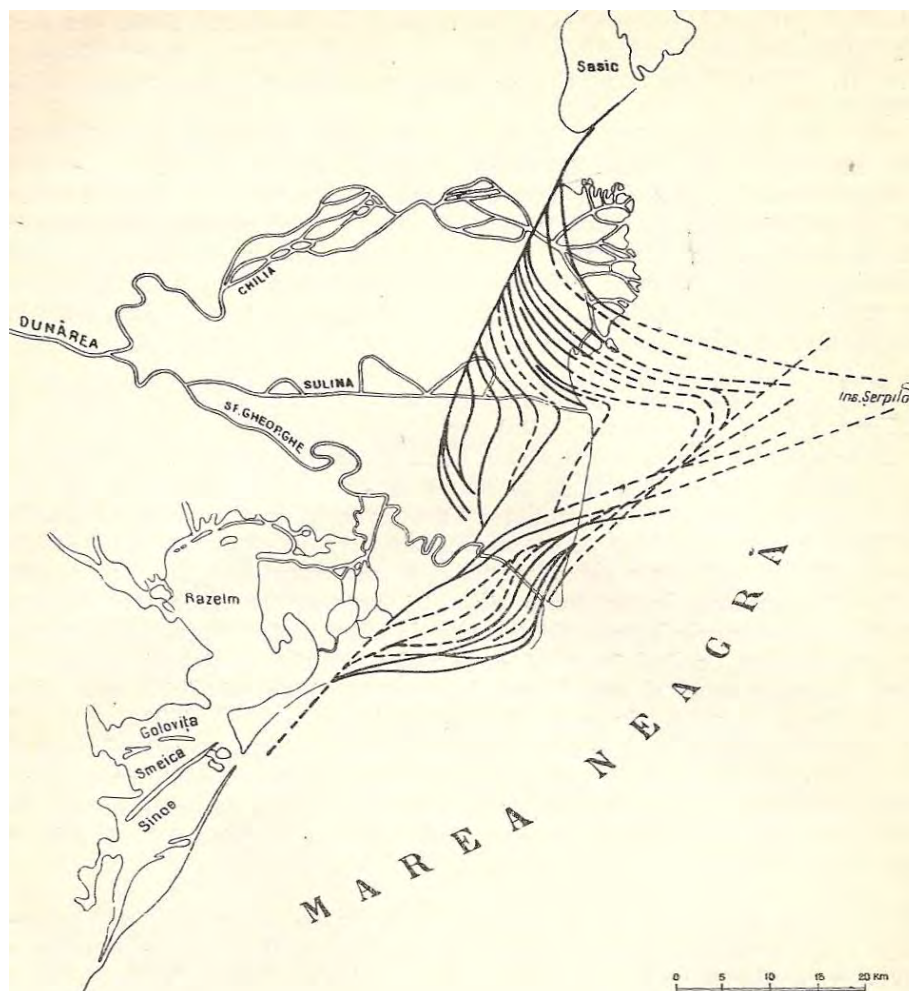


Fig.4.2 Le modèle du delta du Danube proposé par Valsan
Source : Petrescu, 1957

Il accepte l'idée d'un cordon initial, mais il diminue l'importance du Danube dans la construction de son delta, et il pense que le fleuve est arrivé très récemment dans la moitié est du delta. Il voit ce système comme une forme régressive car, à part l'embouchure du Chilia qui est en train d'avancer sur la mer, le reste de la côte est érodée. Il base son modèle sans doute inédit mais erroné sur la similitude avec le Cap Canaveral en Floride aux Etats-Unis.

Slanar (1945) propose de caler la chronologie du delta sur la périodisation du Quaternaire alpin et suggère une chronologie longue de formation du delta. Ainsi, il avance que le delta et le cordon qui suit la ligne Jibieni-Caraorman se sont formés pendant le Würm I, il y a 100 000 à 70 000 ans, lorsque le niveau de la mer Noire était de 4 m inférieur à celui d'aujourd'hui. La transgression marine qui a suivi le Würm I a favorisé l'avancement des embouchures Sulina et Sf. Gheorghe vers l'est, et la construction par les courants littoraux des grandes rides Letea, Caraorman et Saraturile. Le Bras Chilia est apparu, d'après Slanar, au début du Moyen Age. Il a brisé l'isthme de Pardina et a colmaté la région située à l'est. Ensuite il a percé la zone isthmique située au nord de la Ride Chilia, comblant également la dépression submergée qu'il a rencontrée entre les rides Chilia et Letea. Finalement il a dépassé aussi la ligne Vâlcon-Periprava, construisant son lobe actuel.

M. Pfannenstiel (1950) propose une chronologie de construction du delta plus courte que son prédécesseur, qui aurait commencé pendant la transgression flandrienne, il y a environ 20 000 ans. Il bénéficie des premiers travaux sur les variations eustatiques du niveau marin développés dès le début des années 1950. Dans cette période le fleuve débouchait dans un golfe-estuaire situé sur l'emplacement du delta d'aujourd'hui et dans lequel se trouvaient les îles Chilia, Letea, Caraorman et Saraturile. Pendant la transgression continue de la mer ces îles auraient été ensuite submergées.

Au Postglaciaire, après la stabilisation de la mer à son niveau actuel, sont apparues les conditions de la construction de l'actuel delta. Ainsi prend naissance un cordon littoral sableux, de direction générale nord-sud, et tendant à fermer le golfe, avec comme points d'appui Gibieni au nord et le cap Histria au sud, de même que les anciennes îles Letea et Caraorman. En arrière de ce cordon, le delta aggrade en réponse à la hausse du niveau de la mer. Les arguments chronologiques avancés restent faibles.

4.2 Le temps des synthèses

Les travaux de **Petrescu** (1948, 1957) puis de **Zenkovitch** (1956), reprennent dans un premier temps les éléments de chronologie relative qu'ils affinent sur la base de nouvelles observations sur la chronologie des rides.

I. Gh. Petrescu (1948, 1957) propose une théorie qui prend en compte l'action couplée du fleuve et de la mer dans la création de la partie fluviomarine du delta. Il est adepte de l'existence des « centres d'action » dans lesquels deux forces se rencontrent, le courant fluvial et le courant littoral marin et, selon la règle du parallélogramme, les rides sont créées sur la diagonale du parallélogramme. Il considère que le Bras Sf. Gheorghe est le plus ancien

mais, sur la dernière portion de son cours, il contournait par l'ouest et par le nord la Ride Saraturile, ride qui a été ainsi créée par ce bras. Le changement du cours du Bras Sf. Gheorghe sur le chenal actuel aurait eu lieu ultérieurement.

V.P. Zenkovitch (1956) considère lui aussi que le delta a été construit dans un ancien golfe, séparé progressivement de la mer par une barre de sable (Fig.4.3), sur laquelle se sont ultérieurement greffées au cours des derniers 2 000 ans, par ordre chronologique, les rides de Caraorman, de Letea et de Gibrieni, à la suite de la percée d'un cordon littoral initial par les bras du fleuve. Sf. Gheorghe a donc d'abord construit la Ride Caraorman, Sulina a construit la Ride Letea et Chilia la Ride Jibrieni.

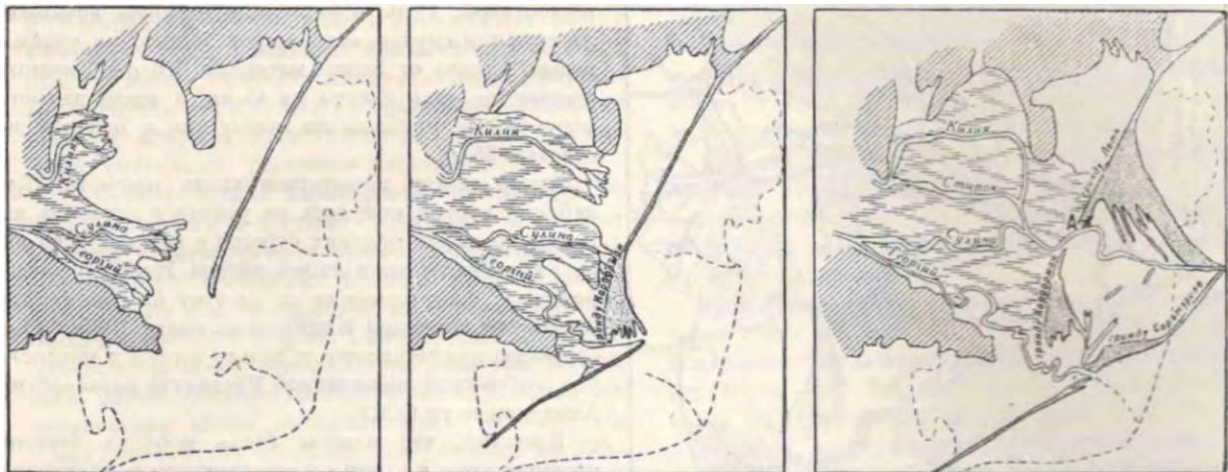


Fig.4.3 La formation des rides dans la partie fluviomarine du delta

Source : Zenkovitch, 1956

P. Cotet (1960, 1971) réalise la première synthèse à l'échelle de l'ensemble du delta en reprenant les travaux antérieurs (Antipa, Bratescu, Valsan). Comme Antipa l'avait proposé, il admet que le golfe ait été transformé en liman suite à la formation d'un cordon littoral d'origine marine, liman qui a été ensuite colmaté par les sédiments du Danube du sud vers le nord, dans l'ordre du développement des bras du delta, Sf. Gheorghe, Sulina et Chilia. Il propose un phasage de l'évolution du delta en quatre grandes étapes : 1. une phase golfe ; 2. une phase de lagune ultérieure à la construction du cordon littoral ; 3. une troisième phase fluvio-lacustre avec la formation du delta fluvial ; et enfin 4. une phase fluvio-marine avec la progradation des lobes secondaires de chaque bras.

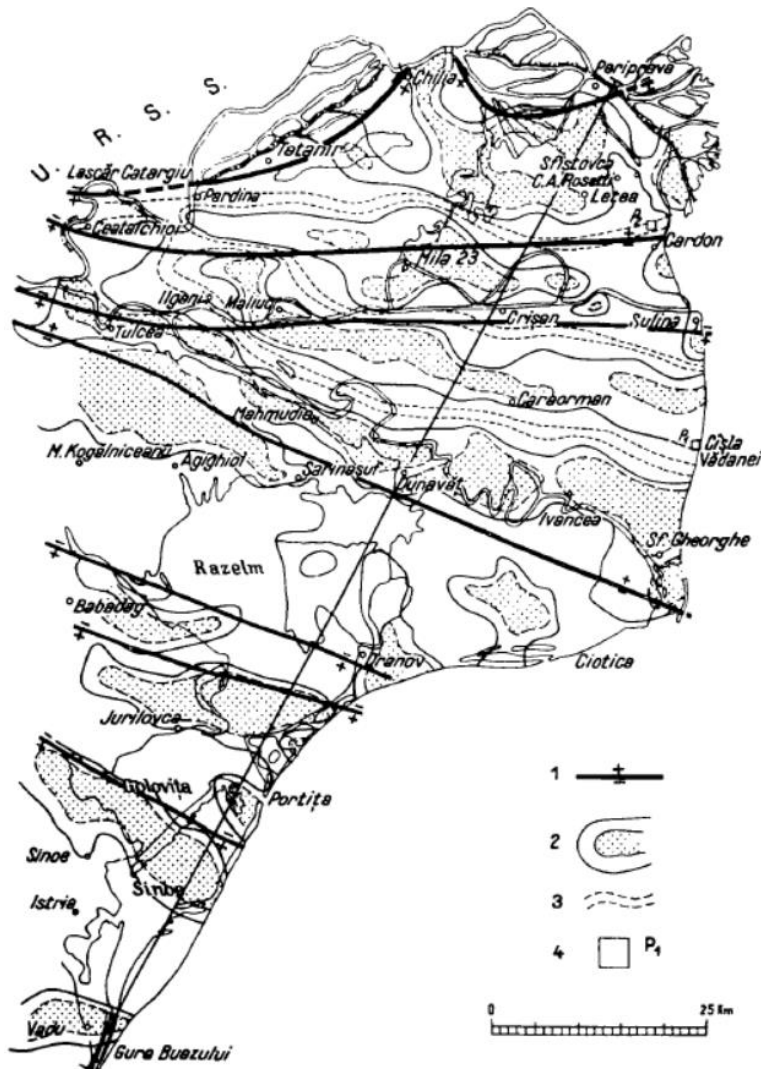
4.3 Un renouvellement des données

Les principaux travaux mentionnés ci-dessus se basaient principalement sur des cartographies de surface et étaient d'un point de vue chronologique, largement spéculatifs. Les années 1960 et la première moitié des années 1970 vont renouveler les approches d'abord par l'apport des données de sub-surface, puis par la réalisation des premières datations absolues.

E. Liteanu et ses collaborateurs (Liteanu et al., 1961 ; Liteanu & Pricajan, 1963) donnent une première interprétation des données issues des forages exécutés sur le territoire du delta. Il s'agit de plus de 100 forages d'une profondeur de 50 à 100 mètres, réalisés pour connaître la structure profonde du delta et son fonctionnement hydrogéologique. Ils permettent aussi de préciser l'évolution dans le temps et l'espace de l'édifice deltaïque du Danube. Ces auteurs insistent sur le rôle de la structure profonde notamment dans la subsidence tectonique et sur le rôle des variations du niveau marin comme facteurs explicatifs de la géomorphologie du delta.

N. Popp (1965) émet également une hypothèse concernant la genèse et l'évolution du delta du Danube. Son scénario comprend les mêmes quatre phases : une phase de golfe, une phase lagunaire, une phase fluvio-lacustre et une phase fluvio-marine. Selon Popp la construction du delta a commencé il y a 7 000-8 000 ans, dans un golfe de la mer Noire, après les glaciations et la stabilisation du niveau de la mer. Dans ce golfe s'avançaient les péninsules de Chilia et de Stipoc, et les îles Letea, Caraorman et Saraturile. Dans la partie sud de ce golfe, le Bras Sf. Gheorghe avait commencé son avancée. Dans la deuxième phase le golfe est barré par un cordon littoral ayant comme points d'appui les anciennes îles de Letea et Caraorman, l'autre île prédeltaïque, Saraturile, restant isolée à l'extérieur. Dans la phase du delta fluvio-lacustre il distingue deux étapes. Une première étape avec la construction du Bras Sulina : pendant cette étape au nord de l'île de Stipoc il y avait le lac de Pardina, alors qu'au sud de cette île s'écoulait un émissaire du lac Ialpug-Cuhurlui sur le cours actuel du Bras Chilia et ensuite sur le canal Sontea, jusqu'à l'actuelle localité Mila 23. Dans une deuxième étape c'est le Bras Chilia qui se forme, en rompant d'abord l'éperon situé entre la localité d'Ismail et la Ride Stipoc, et ensuite celui de Chilia, en arrivant dans la région de Periprava. L'auteur considère que du temps d'Hérodote, au Vème siècle av. J.C., le delta fluvial était déjà formé, avec à peu près la configuration actuelle jusqu'à la ligne Periprava-Dunavat. A l'exception de la large ouverture de l'embouchure de Sf. Gheorghe, le cordon littoral présentait au moins deux ruptures : à Periprava, là où débouche le Bras Chilia et à Raducu, où se trouvait l'embouchure du Bras Sulina. Dans la quatrième phase, la phase fluvio-marine, l'auteur distingue aussi deux étapes : la période de la construction du delta fluvio-marine, étalée sur une durée de 1 500 ans, entre le Vème av. J.C. et le Xème siècle EC. Il place dans le temps cette phase « pointue » d'extension maximum du delta dans la mer au Xème siècle en se basant sur l'apparition sur les cartes en 950 EC de Sulina (Selina) à l'embouchure du bras médian du delta. Après cette phase de construction suit une période de recul, depuis le Xème siècle jusqu'à nos jours, pendant laquelle la côte du delta aurait reculé sans discontinuer, sur toute son étendue, à l'exception de l'embouchure du Bras Chilia qui, depuis la moitié du XVIIIème siècle, aurait commencé à s'avancer au-delà de Périprava. Popp est aussi adepte de l'hypothèse selon laquelle le Bras Sf. Gheorghe se serait d'abord écoulé au nord de la Ride Saraturile, et il place le changement du bras sur le cours actuel après le VIIIème siècle AC.

S. Airinei (1966) et **A. Pricajan** (Airinei & Pricajan, 1969) développent des approches basées sur les données géophysiques. Ils proposent une cartographie de la paléotopographie à l'échelle du delta (Fig.4.4).



Legende

- 1- Lignes structurales avec la signification de lignes crustales
- 2-Anomalies locales qui reflètent la structure et le relief prédeltaïque
- 3-Les paleobras du Danube
- 4-Panneau micromagnétique

Fig.4.4 Le relief prédeltaïque et les paléobras du Danube

Source : Airinei & Pricajan, 1969

Les auteurs attribuent le déplacement des paléo-chenaux distributaires identifiés dans le relief prédeltaïque aux mouvements verticaux différenciés, qui ont évolué du sud vers le nord. En ce qui concerne la formation et la distribution des cordons littoraux dans le delta fluvio-marin, ils seraient liés à la rythmicité des mouvements verticaux du fondement de la partie nord-ouest de la mer Noire. Ces auteurs privilégient une vision de la structure profonde du delta comme facteur déterminant de son évolution via le contrôle de la paléotopographie et négligent le rôle des facteurs eustatiques.

4.4 Les chronologies basées sur les données absolues (C14 et OSL)

N. Panin, au fil de ses nombreuses publications (Panin, 1972, 1974, 1989, 1997, 2003 ; Panin & Panin, 1983 ; Panin & Overmars, 2012) est le premier à développer un modèle de formation du delta qui s'appuie sur le couplage entre les données géomorphologiques (chronologie relative), processus et chronologie absolue basée sur des datations ¹⁴C (Fig.4.5).

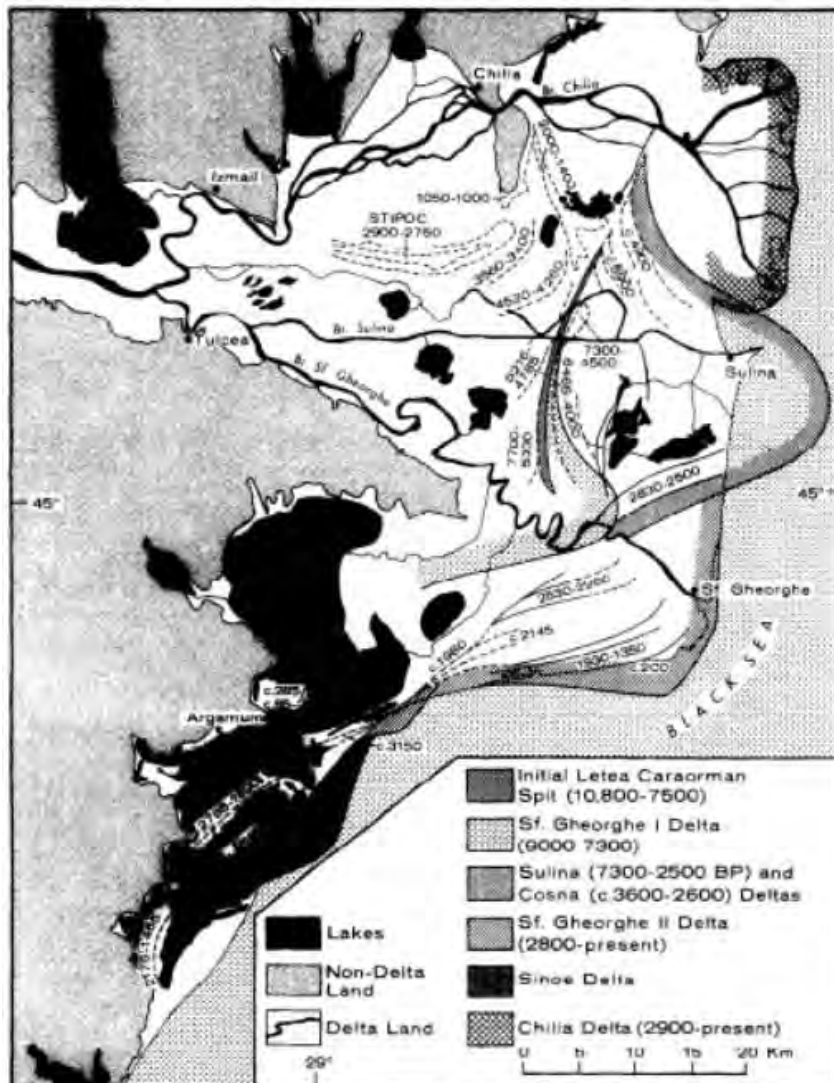


Fig.4.5 La formation et l'évolution du delta du Danube d'après Panin

Source : Panin & Panin, 1983

Il estime que le cordon initial Letea-Caraorman s'est formé il y a 10 800-7 500 BP en s'appuyant sur les formes lœssiques de relief prédeltaïque. A l'ouest de ce cordon, le fleuve a construit un delta digité dans la nouvelle lagune. Entre la péninsule de Dunavat et la partie sud du cordon initial, l'embouchure du premier bras du Danube, le Bras Sf. Gheorghe, crée un delta maritime dans l'intervalle 9 000-7 300 BP. Au cours de l'étape suivante c'est le Bras Sulina qui prend le dessus et dans l'intervalle 7 200-2 000 BP construit son delta maritime, en arrivant à son extension maximale avec une côte située à 10-15 km au large par rapport à la ligne de côte actuelle. Dans l'intervalle (3 600-2 600 BP), c'est le Dunavat qui construit le delta de Cosna. Dans la dernière phase, entre 2 900-2 800 BP et ce jour, les bras Sf. Gheorghe et surtout Chilia drainent la plupart des eaux et sédiments du Danube et bâtissent leurs deltas, tandis que le delta du Sulina commence à être érodé.

Ultérieurement, Panin (Panin, 2003 ; Panin & Overmars, 2012) a corrigé un peu ses dates et il estime que le cordon initial a été formé dans l'intervalle 11 700-7 200 B.P., que le delta Cosna du Dunavat s'est formé entre 3 500-1 500 BP, le delta Sf. Gheorghe II de 2 800

BP à aujourd'hui et le delta Chilia de 2 500 BP au présent. Cependant le nombre et la nature des datations utilisées, en particulier les matériaux utilisés (coquillages le plus souvent) posent parfois des problèmes.

L. Giosan et ses collaborateurs (Giosan et al., 2006) proposent un renouvellement global de la chronologie du delta actuel, basée également sur des datations C14 et des datations par OSL, prenant en compte les oscillations du niveau de la mer Noire (Fig.4.6).

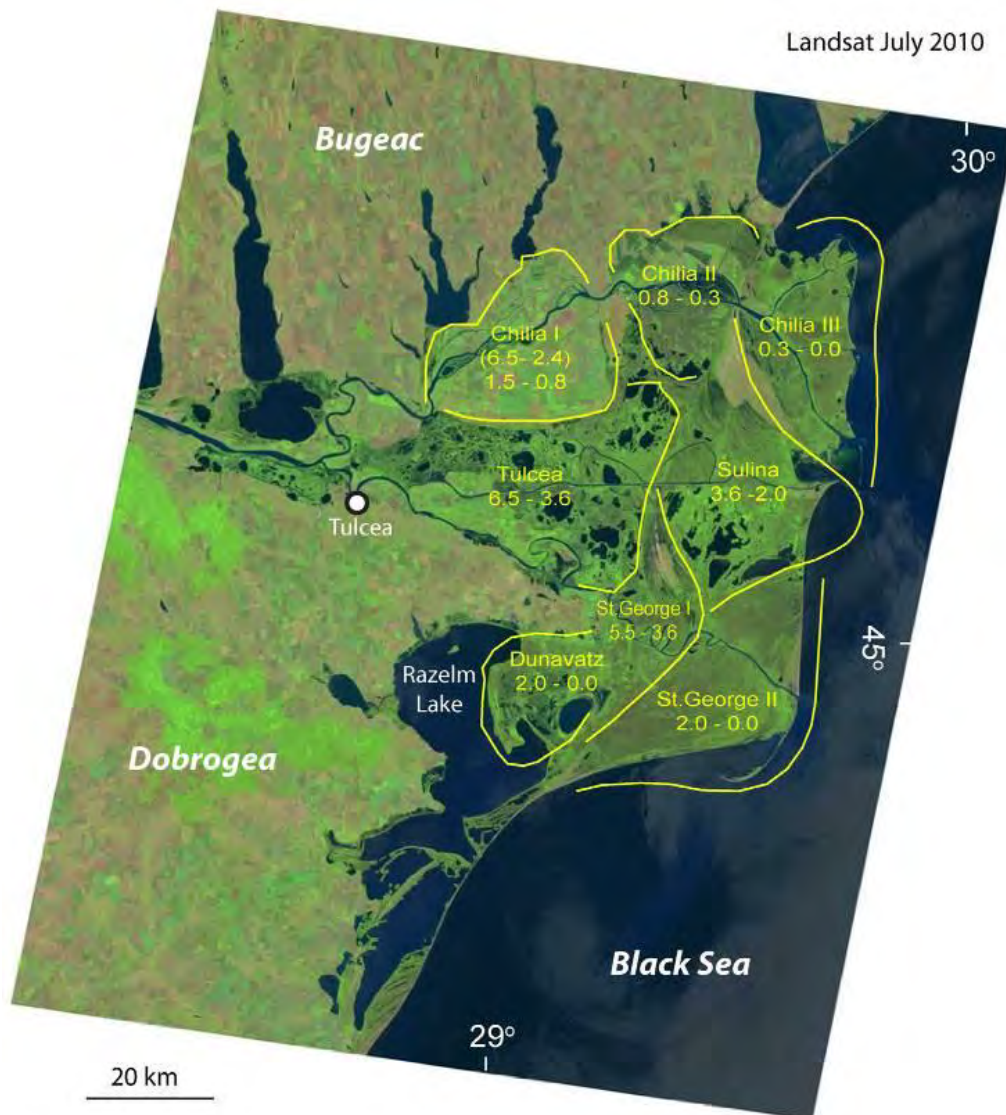


Fig.4.6 La formation et l'évolution du delta du Danube d'après Giosan
Source : Filip & Giosan, 2014

L'âge proposé par Giosan et al. est plus récent que l'âge avancé par Panin. Ces auteurs pensent que le delta a commencé à prograder il y a seulement 5 200 ans et que la phase de *bay-delta* est courte, moins de 1 000 ans. D'après Giosan, la Ride Caraorman est la plus ancienne forme du delta et des datations par OSL réalisées dans la partie ouest du delta donnent une date de ca. 5 210 BP, date associée au commencement de la progradation du lobe Sf. Gheorghe I. Il place la fin de l'édification du lobe Sf. Gheorghe I et le début de

l'édification du lobe de Sulina à ca. 3 640 BP. La fin de la formation du lobe de Sulina et le commencement de l'édification du lobe Sf. Gheorghe II est située autour de 2 000-1 700 BP. Le lobe du Dunavat n'aurait pas plus de 2 000 ans. Pour la formation du premier delta du Bras Chilia, dans la région de Pardina, les auteurs distinguent deux étapes : une première entre 6 250 et 2 600 BP et une deuxième après 1 470 BP. Le commencement de la formation du delta Chilia II, formé après le percement de la Ride Chilia, est placé à partir de 800 BP. Le delta Chilia III, qui correspond au delta secondaire du Bras Chilia n'aurait pas un âge supérieur à 300 ans conformément aux données cartographiques anciennes.

J.-M. Carozza (2011) et ses collaborateurs (Carozza et al., 2011, 2012, 2013 ; Danu et al., 2016) apportent de nouvelles informations sur la formation et l'évolution du delta fluvial avec des datations C14, et sur le relief prédeltaïque suite à des approches géoarchéologiques, géomorphologiques et paléoécologiques.

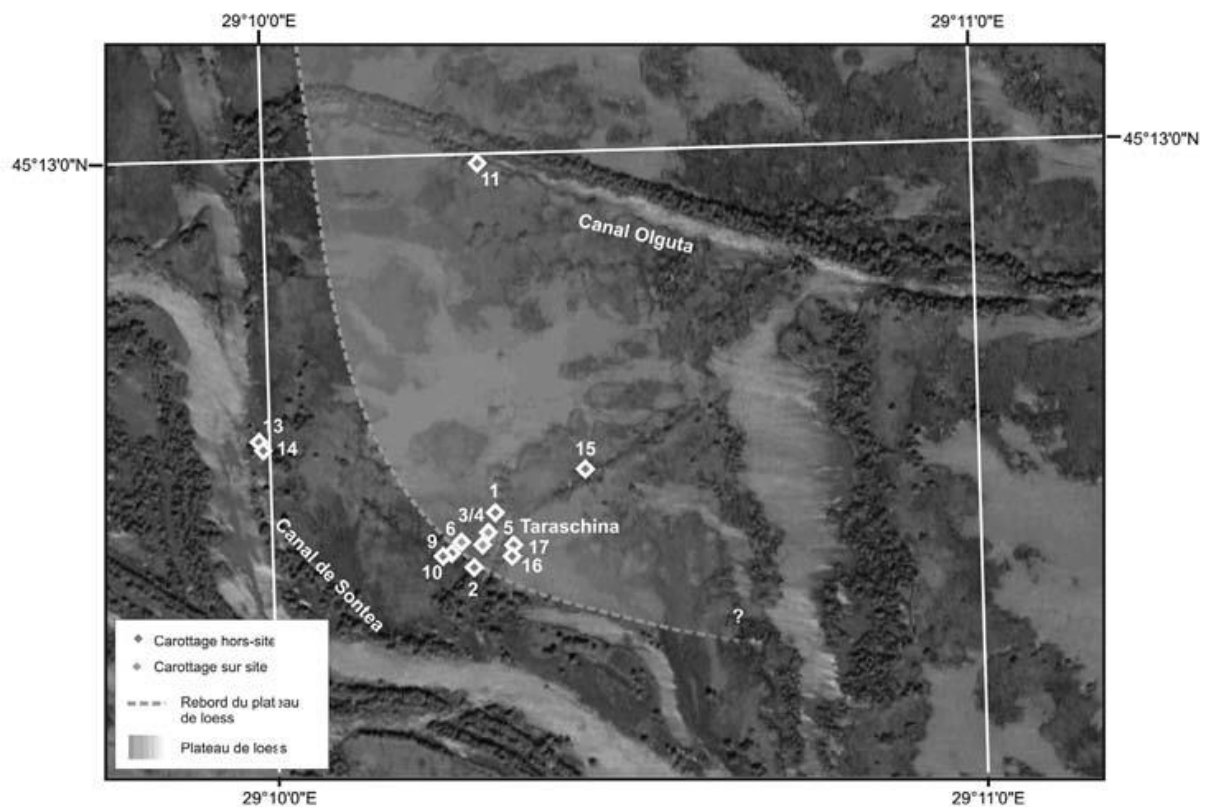


Fig.4.7 Le prolongement du plateau de loess de Chilia vers le sud

Source : Carozza et al., 2014

Ces travaux se concentrent sur la partie centrale du delta, dans le delta fluvial, jusque-là peu étudiée, autour du site archéologique de Taraschina, la plus vieille occupation du delta du Danube découverte à ce jour. Les carottes sédimentaires étudiées montrent que le site archéologique repose sur une terrasse de loess (Fig.4.7) qui constitue le substratum du site et son environnement proche. Le site pourrait être localisé en bordure du plateau, au niveau d'un talus délimitant le lit majeur du Danube au moment de l'occupation, entre 6 750-6 530 BP. Les dernières occupations du site se placent vers 6 440-6 300 BP, alors que l'environnement

autour du site entre 6 400 et 5 950 BP est exclusivement dulcicole. La formation définitive de la plaine pourrait s'être produite vers 6 050-5 950 BP.

Cette zone du delta interne aurait évolué donc dans un premier temps comme une zone lagunaire d'eau douce d'ampleur croissante. Cette évolution pourrait avoir débuté au moins depuis 7 550-7 350 BP et correspond à un stade de delta lagunaire. Entre cette date et 6 400 BP, la remontée du niveau marin peut-être combinée avec une surcote lagunaire liée à des apports d'eau douce plus importants du Danube autour de 6 950-6 150 BP, ont conduit à un piégeage rapide des sédiments autour du site, modifiant de manière drastique la paléogéographie de celui-ci.

Ces observations sur le rôle de la paléotopographie et l'existence d'un plateau de lœss au sud de la Ride Chilia confirment les témoignages de l'ingénieur en chef de la CED Ch. Kuhl (*in* Antipa, 1910) qui parle d'une « couche d'argile très dure » rencontrée pendant les travaux de recouplement du petit méandre de Mila 23. La nature pré-Holocène de ces formations est confirmée par la faune froide de Caraorman, découverte lors du creusement du canal.

Les données de Carozza et al. (Danu et al., 2016) montrent également que la partie fluviale du delta a connu une évolution en deux phases. La première, contemporaine de l'occupation du site de Taraschina se prolonge jusque vers 4 950 BP. Elle est suivie d'un hiatus/réduction des vitesses de sédimentation, probablement en raison : 1) du début de la progradation du lobe St Gheorge et 2) des modifications de la position des paléochenaux distributaires notamment le chenal de Chilia. Il faut également noter que ces observations sur une augmentation drastique des taux de sédimentation au cours du Moyen-Age central (ca. 650 BP) sont également enregistrées en amont du bassin (Benecke et al. 2013) et ont également été notées par McCarney-Castle et al. (2012).

A. Vespremeanu Stroe et al. (Vespremeanu et al., 2016a, 2016b, 2017) ont récemment proposé une nouvelle synthèse de l'histoire du delta, basée sur l'acquisition de nouvelles données chronostratigraphiques (Fig.4.8). Ils proposent un développement du delta fluvial en deux phases : une première phase de progradation du delta dans un golfe ouvert placé entre 8 000 BP et 5 500 BP qui se trouve actuellement à 4-6m de profondeur du fait de la montée du niveau de la mer Noire et de la subsidence deltaïque ; et une deuxième phase de 5 500 BP à nos jours, après la formation du cordon littoral initial, phase au cours de laquelle s'achève la configuration actuelle du delta fluvial. La formation du delta Sf. Gheorghe I est placée entre 6 000 BP et 3 500 BP, mais les auteurs pensent que ce delta a été beaucoup plus développé vers le sud, couvrant les lacs Razim et Golovita actuels. Le delta Sf. Gheorghe II s'est formé depuis 2 100-1 350 BP jusqu'à aujourd'hui. Le delta Dunavat est placé entre 2 600 BP et 1 300 BP. La formation du delta du Bras Sulina est placée entre 3 500 BP et 2 000-1 350 BP. Le delta secondaire du Bras Chilia a été formé au XIXème et XXème siècle, même si, d'après les auteurs, le Bras Chilia est arrivé à Periprava il y a 900 ans. Les changements anthropiques importants du XXème siècle sont tenus pour responsables des modifications dans la morphologie des deltas actuels des bras Chilia et Sf. Gheorghe.

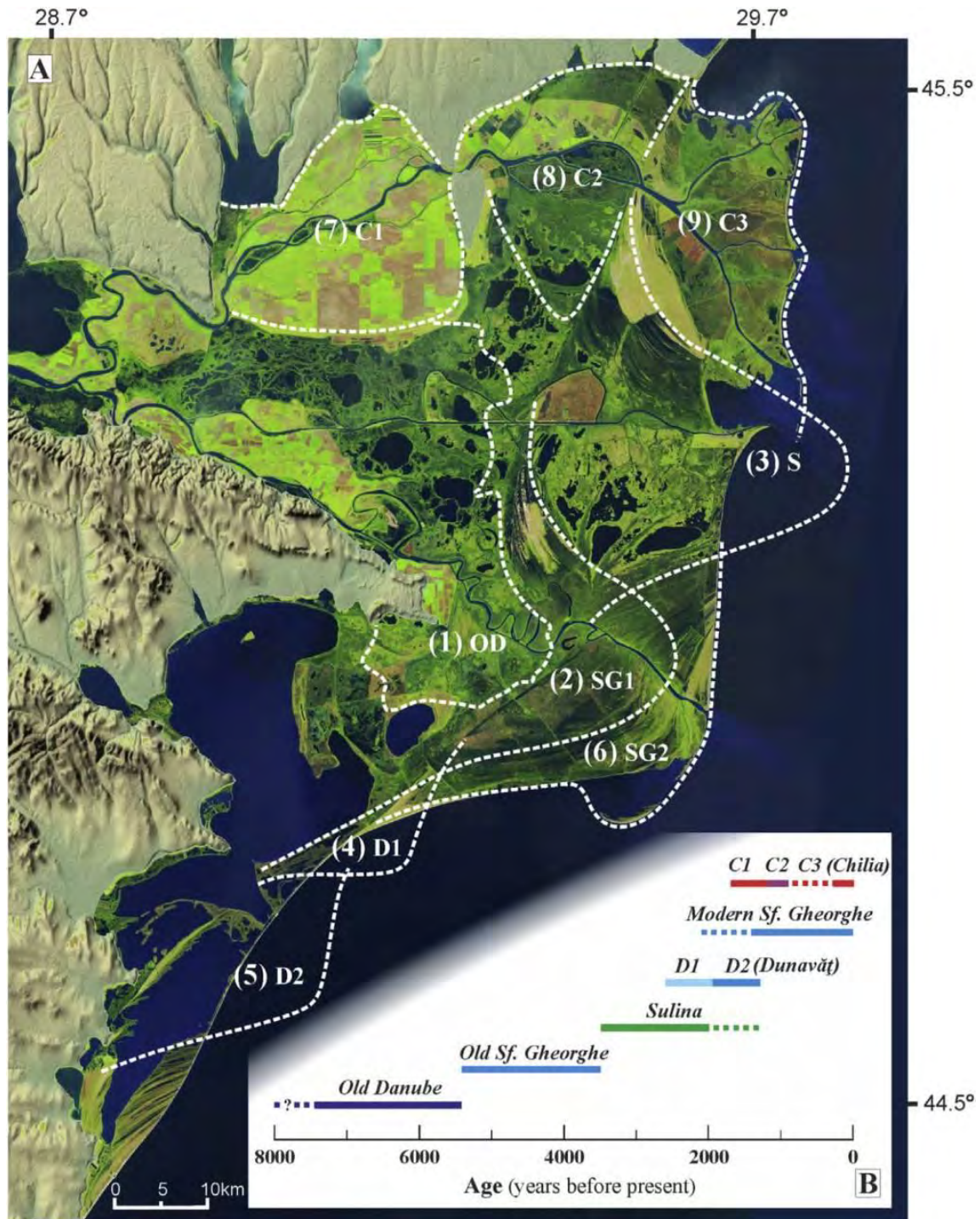


Fig.4.8 La formation et l'évolution du delta du Danube d'après Vespremeanu-Stroe
 Source : Vespremeanu-Stroe et al., 2017

Les hypothèses liées à l'évolution du delta fluvial restent encore assez peu développées, mais les auteurs donnent un modèle plus détaillé pour la partie située à l'extrémité sud du delta, partie qui sépare le complexe lagunaire Razelm-Sinoe de la mer Noire, et qui est intimement liée à l'évolution du delta. Ce modèle d'évolution du delta fluvial est largement inspiré des travaux de Zencovici (1956) et pose de nombreuses questions. En particulier, il est incompatible avec les observations de Carozza et al. sur la paléogéographie

du plateau lœssique. D'autre part, il est également incompatible avec les observations réalisées dans le cadre de ce mémoire sur le lac de Pardina.

Conclusion du chapitre 4

Un nombre important d'auteurs roumains et étrangers ont travaillé sur la genèse et l'évolution du delta du Danube depuis la seconde moitié du XIXème siècle. Nous avons présenté dans ce chapitre les théories que nous avons considéré les plus intéressantes et pertinentes, et de ne pas développer certaines autres (Mihailescu & Banu, 1958 ; C. M. Stefanescu, 1981 ; Ghenea & Mihailescu, 1991). Encore aujourd'hui, il n'y a pas de consensus sur cette question.

La plupart des modèles sont centrés sur la partie fluviomarine du delta, la partie qui est la plus visible, tandis que la partie fluviale, plus ancienne, est traitée de façon marginale à cause de son ancienneté et de la complexité de son histoire, liée à la conjugaison des processus géomorphologiques classiques, de la subsidence deltaïque et des oscillations du niveau de la mer. C'est pour ces raisons aussi que nous avons choisi de délimiter notre terrain d'étude sur la partie fluviale du delta du Danube.

Des questions comme le relief pré-deltaïque, l'origine de la Ride Stipoc et une chronologie bien argumentée de tous les compartiments du delta du Danube sont encore des points qui restent à éclaircir, auxquels s'ajoutent les questions liées à la subsidence et aux oscillations du niveau de la mer Noire. La diversification des méthodes utilisées, la multiplication des échantillons analysés et datés et l'intérêt que suscite encore le delta pour plusieurs groupes de chercheurs de différents pays vont sans doute continuer à amener de nouveaux éléments qui vont aider à clarifier le puzzle géomorphologique actuel du delta du Danube.

Conclusion première partie

Les deltas sont des formes de relief azonales, de forme et de taille variées, qui sont intimement liées à la taille et aux caractéristiques de leurs bassins versants. Ces formes de relief littoral ont une évolution cyclique : après une phase de construction, d'avancement de la terre sur la mer, s'ensuit une phase de destruction, d'érosion du delta, due aux divers changements des forces actives et plus récemment aux interventions des sociétés humaines.

Une lecture cartographique sommaire montrant le Danube comme deuxième plus long fleuve d'Europe et le fleuve le plus international au monde, nous laisse déjà entrevoir la complexité des aspects hydro-géographiques, mais également socio-politiques quant aux politiques de gestion et de préservation des fonctions écologiques et sociales du Danube. En traversant l'Europe selon une direction générale de l'ouest à l'est le Danube présente des régimes hydrologiques variables liés aux différentes régions climatiques parcourues, passant d'une rivière de montagne à un grand fleuve de plaine.

Voie de circulation en Europe depuis le Néolithique, le Danube a eu un rôle important dans le transport et le commerce pendant une longue durée et jusqu'à des périodes récentes quand, après les années 1990, suite aux guerres de l'ancienne Yougoslavie, il perd de son importance.

Les deltas sont en général des régions très attractives, et donc habituellement très peuplées, grâce à leurs sols très fertiles pour le développement agricole, leurs ressources en eau douce et une riche biodiversité. Contrairement à la plupart des deltas du monde, ce n'est pas le cas du delta du Danube. Son histoire mouvementée depuis plus de deux millénaires et son instabilité géopolitique plus récente a gardé ce territoire très peu habité, faisant même l'objet, à plusieurs reprises, d'un abandon total. Aujourd'hui le delta du Danube est l'espace le moins peuplé de l'Union Européenne, ce qui représente une de spécificités de ce delta.

Une autre spécificité du delta du Danube, malgré sa faible population, est la diversité ethnique, qu'on retrouve même aujourd'hui, témoignage de l'histoire mouvementée de cette région, située pendant l'histoire à l'intersection des intérêts des plusieurs empires européens.

Sujet de recherche pour un nombre important d'auteurs depuis la seconde moitié du XIXème siècle, la question de la formation et de l'évolution du delta suscite encore des débats aujourd'hui. Nous avons choisi comme terrain d'étude pour cette thèse la partie amont du delta, considérée comme la partie fluviale, plus ancienne et plus complexe, et qui a été jusqu'à présent moins étudiée que la partie fluviomarine.

|

Deuxième partie :

Sources, méthodes et outils un dispositif hybride

Introduction deuxième partie

L'objectif de ce travail de thèse est de reconstituer les trajectoires d'évolution des différentes unités géomorphologiques de la partie fluviale du delta du Danube afin d'apporter de nouvelles données aux questions de recherche abordées précédemment.

Ce terme de trajectoires d'évolution est issu du domaine de l'écologie où il désigne le chemin évolutif d'un écosystème dans le temps (Chocat, 2013). Afin d'appréhender la complexité à la fois spatiale et temporelle sous-tendue dans la notion de trajectoire d'évolution, une triple périodisation et spatialisation des phénomènes est ciblée. Cette étude s'inscrit donc sur une période plurimillénaire afin de couvrir : 1) la période correspondant à la formation et l'évolution de la partie fluviale du delta du Danube ; 2) la période depuis l'Antiquité et jusqu'à l'époque contemporaine et 3) la rupture d'après la Deuxième Guerre mondiale, associée à l'aménagement intensif des plaines alluviales dans cette partie du delta.

La problématique générale s'articule autour de deux questions : « Quelles sont les trajectoires d'évolution des différentes unités géomorphologiques du delta fluvial ? » et « Quelle est la périodisation et quelles sont les conséquences de l'anthropisation du delta sur les paysages ? »

Nos objectifs sont donc, d'une part de reconstituer l'évolution environnementale sur le « temps long » de cet espace, et d'autre part de mettre en lumière le rôle des interventions humaines anciennes ou récentes dans le fonctionnement du milieu, son altération et son éventuelle dégradation dans l'optique de sa prise en compte dans la gestion de ce milieu.

Afin de répondre aux questions posées par la problématique de cette étude deux approches ont été utilisées : une approche géoarchéologique, pour le temps long, à travers les analyses sédimentaires, ainsi qu'une approche géohistorique pour la période plus récente (Fig.1).

L'approche géohistorique replace l'hydrosystème dans une évolution conjointe des déterminants naturels et sociaux. L'interaction des deux composantes, un sous-système « naturel » et un sous-système « social », contribuent de manière réciproque à la morphogenèse fluviale au cours des périodes historiques (Valette & Carozza, 2010).

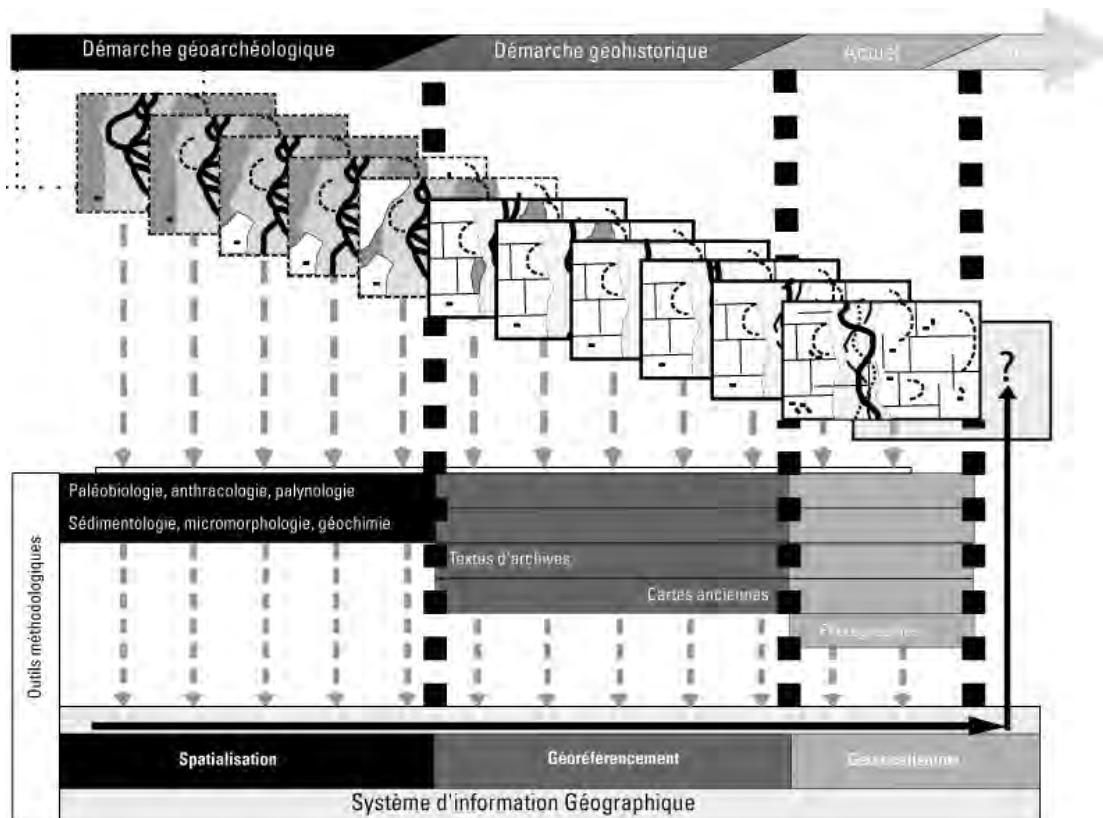


Fig.1 Démarche méthodologique

Source : Valette & Carozza, 2010

La démarche méthodologique mise en œuvre repose sur la complémentarité spatio-temporelle de deux types de sources : les données d'archives (cartes et documents archivistiques, textuels ou autre) et données de terrain (carottes sédimentaires). L'efficacité de cette démarche méthodologique a été démontrée par d'autres études déjà réalisées dans le passé, des études multi-sources, basées sur un couplage documents d'archives / données de terrain (Bravard, 2002 ; Salvador et al., 2004 ; Salvador et al., 2009 ; Arnaud-Fassetta, 2011 ; Astrade et al., 2011 ; Kiss & Blanka, 2012 ; Ziliani & Surian, 2012 ; Toone et al., 2014, Lescure, 2015 ; David, 2016).

Cette partie présentera dans le chapitre 5 les archives sédimentaires avec la stratégie de carottage, les données acquises et toutes les mesures et analyses réalisées, et dans le chapitre 6 les données d'archives, avec toutes les sources, le type de données qu'elles fournissent et la mise en place du système informatique géographique (SIG).

Chapitre 5

Les archives sédimentaires et l'approche géoarchéologique

Pour répondre à la première question de notre problématique « Quelles sont les trajectoires d'évolution des différentes unités géomorphologiques du delta fluvial ? » nous avons utilisé une approche géo-historique, reposant sur l'analyse des archives du sol.

La mise en œuvre de sondages sédimentaires vise à répondre à un double objectif : apporter de nouveaux éléments pouvant aider à comprendre la formation du delta dans la région étudiée, et obtenir une image de l'organisation stratigraphique du sous-sol, afin de comprendre le mode de construction et d'évolution des milieux. Dans cette optique, des mesures de spectrocrométrie et de susceptibilité magnétique ont été effectuées, ainsi que des analyses granulométriques et de perte au feu sur une série d'échantillons prélevés au sein des carottes. Par ailleurs, plusieurs échantillons ont fait l'objet de datations C14. Toutes ces méthodes employées doivent nous aider à identifier, interpréter et dater les différents niveaux des carottes sédimentaires.

5.1 Acquisition des données de terrain

Le choix des sites a été guidé par la prise en compte des différentes unités hydrographiques du delta fluvial. La logistique a été compliquée à mettre en œuvre (Fig.5.1) : déplacement avec des petites barques pour pouvoir accéder aux sites de carottage, poids important du matériel nécessaire aux carottages, accessibilité du terrain variable en fonction du niveau d'eau du Danube, nécessité de garder la proximité avec les projets de recherche qui ont financé les campagnes de terrain pendant les missions de fouilles archéologiques, localisées dans la zone Mila23 – Taraschina. De ce fait, nous avons fait des prospections seulement dans la moitié nord du delta fluvial.



Fig.5.1 Missions de carottage du 2013 et 2015

Photo : T.Groparu & L.Carozza

Au total, 11 carottages ont été réalisés sur le terrain d'étude, avec des longueurs comprises entre 4 et 10 mètres (Tableau 5.1), et une moyenne de 7,9 mètres par carotte.

| | Nom | Longueur (m) | Latitude | Longitude | Altitude (m) |
|----|----------|--------------|------------|------------|--------------|
| 1 | ParLac01 | 7 | 45°17'04.2 | 29°05'49.5 | -0.55 |
| 2 | ParLac02 | 7 | 45°17'04.2 | 29°05'49.5 | -0.55 |
| 3 | ParCan | 10 | 45°16'42.8 | 29°05'48.5 | -0.26 |
| 4 | Stipoc | 7 | 45°16'06.0 | 29°05'47.6 | 0.71 |
| 5 | Sontea01 | 9 | 45°14'20.8 | 29°07'27.6 | 0.95 |
| 6 | Sontea02 | 10 | 45°13'27.6 | 29°09'46.0 | 1.75 |
| 7 | Tara14 | 6 | 45°12'40.9 | 29°10'01.9 | 1.26 |
| 8 | Tara24 | 4 | 45°12'35.0 | 29°10'21.1 | 1.94 |
| 9 | Caz01 | 10 | 45°13'06.1 | 29°18'26.8 | 0.85 |
| 10 | Caz02 | 9 | 45°12'58.2 | 29°18'11.3 | 1.24 |
| 11 | Mila | 8 | 45°13'27.5 | 29°14'39.4 | 0.58 |

Tableau 5.1 Caractéristiques des carottages

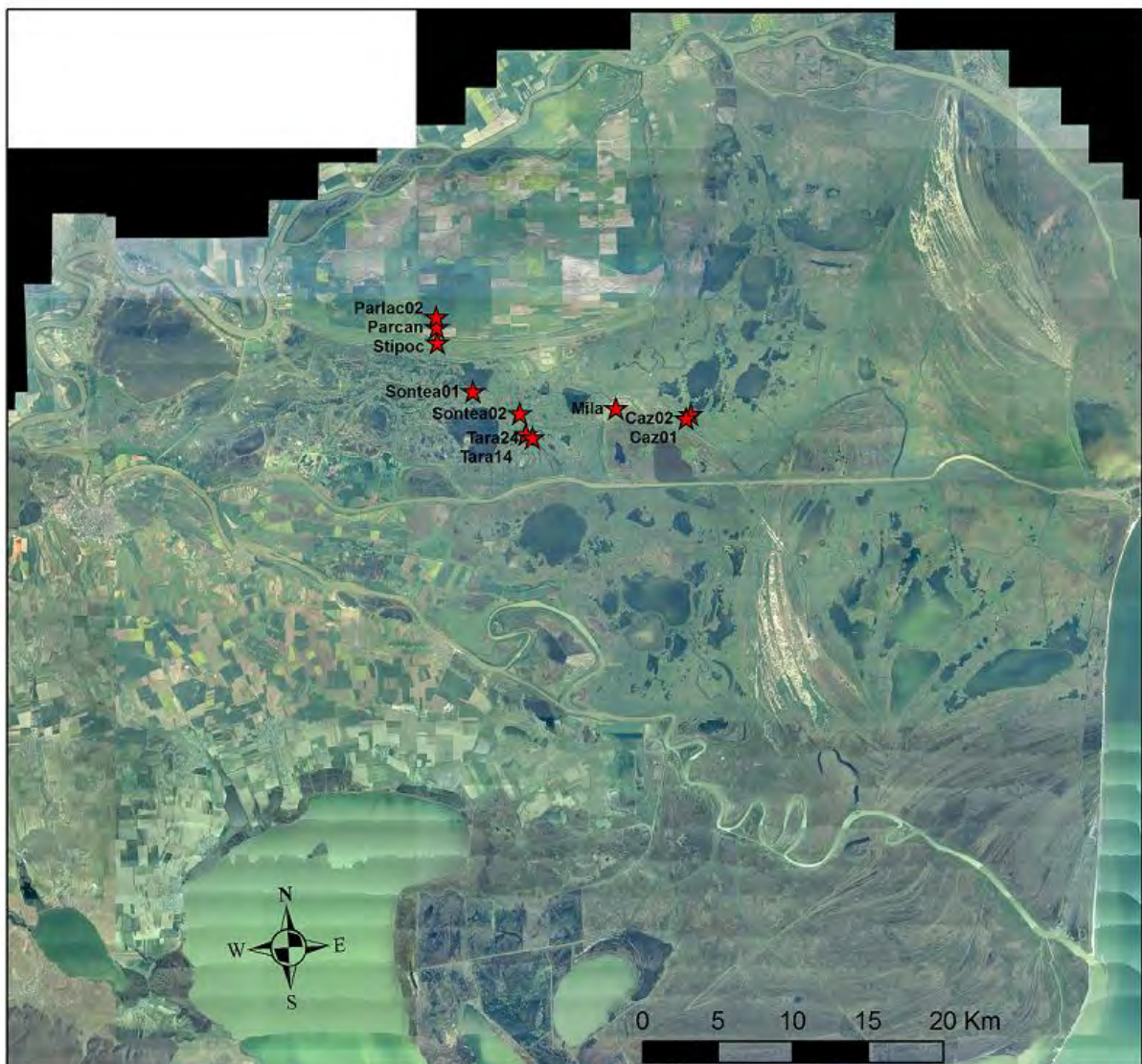


Fig.5.2 Localisation des carottages
Source images ortho-photo : ANCPI, 2010

Les carottes ParLac01, ParLac02, ParCan sont situées dans la région de Pardina, et la carotte Stipoc sur la Ride Stipoc, qui ferme au sud la région de Pardina. Les carottes Sontea01, Sontea02, Tara14 et Tara24 ont été prélevées dans la région Fortuna-Sontea, et les carottes Mila, Caz01 et Caz02 dans la zone de Mila, située au sud de la région Matita-Merhei (Fig.5.2).

Les carottages ont été effectués à l'aide d'un carottier portatif vibro-percuteur type COBRA TT. Cette technique de prélèvement est relativement simple et couramment utilisée : une gouge de 1 m de longueur est positionnée verticalement à la surface du sol et enfoncée à l'aide d'un vibro-percuteur (Fig.5.3 a). Une fois totalement enfoncée, elle est extraite à l'aide d'un extracteur à bras de levier (Fig.5.3 b). De cette manière, les sédiments sont prélevés en préservant l'organisation stratigraphique. L'opération est répétée mètre après mètre en ajoutant des rallonges sur la gouge, jusqu'à ce que le dispositif atteigne le substratum, généralement considéré pour la région du delta comme étant le lèss. Chaque carotte a pour identifiant le nom du site sur lequel elle a été prélevée, parfois suivi d'un numéro de prélèvement (Stipoc, Sontea01, etc.).



a. Carottier COBRA TT ;



b. Extraction carotte

Fig.5.3 Les carottages

Photos : P. Valette

Deux types de gouges ont été utilisés pour réaliser cette étude : une gouge fermée permettant de prélever les carottes sédimentaires dans des tubes PVC (Fig.5.4 a) et de les ramener intactes au laboratoire, et une gouge ouverte (Fig.5.4 b), impliquant que les logs soient levés et les carottes sous-échantillonnées sur le terrain. Chacune de ces deux techniques présente des avantages et des limites, qui justifient qu'elles aient été associées.



a. Tubes PVC - gouge fermée



b. Gouge ouverte

Fig.5.4 Les types de carottes

La gouge fermée permet la réalisation de certaines analyses stratigraphiques, comme la spectrométrie et la susceptibilité magnétique, qui nécessitent que la carotte soit conservée intacte. Cependant, le tube a tendance à se bloquer dans la gouge lorsque les niveaux sableux sont atteints. Dans ce cas, la gouge ouverte est souvent plus efficace et ne nécessite pas de temps d'ouverture en laboratoire. Toutefois, cette technique oblige la levée des logs, la prise de photographies et l'échantillonnage sur le terrain, ce qui représente une perte d'information. De plus, en cas de milieu saturé, il arrive que les sables fluent et soient ainsi perdus.

Pour chaque carotte prélevée, un log préliminaire a été levé à partir d'observations à l'œil nu (sur le terrain pour les prélèvements à la gouge ouverte ; après ouverture en laboratoire pour les prélèvements en tube). La gamme granulométrique (argile, limon, sable) est indiquée et précisée (très fin, fin, moyen, grossier, très grossier), ainsi que la couleur du sédiment. Les limites entre les niveaux sont marquées, et les fragments ligneux ou charbons prélevés susceptibles de représenter un élément de datation (analyses C14) sont annotés. D'autres informations sont notées comme les restes végétaux, racines, ou les coquilles et restes de coquillages. Les logs préliminaires ont été utilisés pour compléter les résultats des mesures et analyses.

Toutes les carottes prélevées ont fait l'objet d'analyses sédimentaires. Pour les prélèvements à la gouge ouverte, à partir de l'observation des logs, un échantillon a été prélevé sur le terrain dans chaque niveau dont l'épaisseur le permettait. Pour les prélèvements en tube, après ouverture en laboratoire (Fig.5.5 a), un pas d'échantillonnage d'environ 1 échantillon tous les 10 cm (Fig.5.5 b) a été utilisé, en tenant compte des niveaux identifiés dans les logs préliminaires.



a. Ouverture carotte à la scie électrique



b. Échantillonnage des carottes

Fig.5.5 Ouverture et échantillonnage des carottes

Chaque échantillon a ensuite été subdivisé en deux sous-échantillons, afin de mener une analyse granulométrique d'une part (2 cm^3) et une analyse des teneurs de perte au feu d'autre part (2 cm^3). Les échantillons organiques potentiellement datables (macrorestes et charbons) ont aussi été prélevés. Ceux susceptibles d'être intéressants au vu du niveau dans lequel ils étaient situés ont été envoyés pour datation. Des coquilles et fragments de coquilles présents dans les carottes ont été également prélevés et ont fait l'objet d'une identification (Valentin Radu, MNIR).

5.2 Analyse des structures sédimentaires

5.2.1 Intérêts de la stratigraphie

La stratigraphie s'intéresse à l'agencement des dépôts sédimentaires dans l'espace (répartition) et le temps (succession chronologique). Elle implique une reconnaissance des corps sédimentaires basée principalement sur leur texture (grave sableuse, sables limoneux, limons, etc.), leur structure (présence ou non de litage) et leur couleur. À partir de ces différentes caractéristiques, il est possible de distinguer les agents de dépôt (fluvial, marin, lacustre ou encore éolien) de chaque formation sédimentaire. Les formations fluviales sont composées de différentes séries sédimentaires correspondant chacune à un milieu de sédimentation particulier. Ces séries sont elles-mêmes subdivisées en séquences composées d'unités mises en place lors d'épisodes hydrologiques d'énergie variable. Dans un chenal par exemple, une décroissance de l'énergie engendra une diminution de la taille des particules composant la charge de fond. Certains événements hydrologiques de courte durée tels que les crues induisent la mise en place de lamines (ou lits) au sein des sous-unités. Ainsi, la hiérarchisation des remblaiements sédimentaires renseigne à la fois sur la nature et les variations d'énergie dans les environnements de dépôt (ou milieux de sédimentation). En ce sens, la stratigraphie est indispensable pour mener à bien la reconstitution paléo-environnementale, paléo-hydrographique et paléo-hydrologique.

5.2.2 Les faciès

On appelle faciès la somme des caractères lithologiques et biologiques d'un dépôt sédimentaire. Il inclut le lithofaciès (composants minéraux d'une couche sédimentaire, et le biofaciès (composants d'origine organique). Chaque faciès est le résultat de conditions de sédimentation spécifiques reflétant un environnement spécifique.

La stratigraphie est la science qui étudie la succession des dépôts sédimentaires, généralement disposés en couches ou strates (Merzeraud, 2009). Elle permet d'établir une chronologie stratigraphique relative, grâce à l'utilisation de deux principes : 1- Le principe de continuité selon lequel une même couche a le même âge sur toute son étendue ; 2- Le principe de superposition selon lequel, de deux couches superposées, non renversées par la tectonique, la plus basse est la plus ancienne. D'autres principes sont aussi utilisés dans la stratigraphie (Merzeraud, 2009) : le principe d'actualisme : les structures géologiques passées ont été formées par des phénomènes (tectoniques, magmatiques, sédimentaires ou autres) agissant comme à notre époque ; le principe d'identité paléontologique : deux couches ayant les mêmes fossiles sont considérées comme ayant le même âge. La plupart des dépôts fluviaux sont détritiques. Une subdivision tripartite simple pour un milieu deltaïque, en lithofaciès de sable et à grains fins limon et argile est une première étape utile dans la description et la classification.

Le transport des matériaux solides réalisé par les cours d'eau résulte de deux processus : par charriage pour les sédiments grossiers (galets, graviers, sables grossiers) ou en suspension pour les particules plus fines (sables fins, limons et argiles). Ainsi, les flux solides

ne circulent pas à la même vitesse dans le cours d'eau. Les matières en suspension qui se déplacent dans la masse d'eau ont une vitesse de déplacement nettement plus élevée que celle des dépôts plus grossiers. De même, le transit sédimentaire au sein du système fluvial est un processus discontinu, caractérisé par de longues périodes de stockage lors de la période d'étiage et d'écoulement moyen, entrecoupées de courtes et rapides phases de déplacement lors des épisodes de crues. De plus, ce processus répond à une logique de répartition des alluvions : la charge de fond (*bedload*) se dépose dans ou à proximité du chenal alors que les matières en suspension (*suspended load*) s'accumulent plutôt dans la plaine d'inondation (Salvador, 2005). En revanche, les particules plus fines, telles que les argiles ($< 2\mu\text{m}$), se déposent par décantation dans les environnements calmes (mare, lac). La décantation des dépôts s'effectue lorsque la vitesse et la turbulence ne sont plus suffisantes pour maintenir les particules en suspension. Ces environnements de dépôts de faible énergie favorisent alors l'accumulation de matière organique.

Ainsi, la taille des sédiments alluviaux est dépendante de la compétence des cours d'eau et représente un bon indicateur de leur énergie et des milieux de sédimentation dans lesquels ils évoluent. En outre, Bravard et al. (2000) rappellent que l'efficacité de l'alluvionnement dépend des caractéristiques de l'hydrogramme de crue. Une crue lente favorisera le dépôt, en quantité comme en étendue de sédiments fins. En revanche, un événement rapide affectera principalement le lit mineur et ses abords et la texture des dépôts sera plutôt grossière.

5.2.2.1 Les dépôts de chenaux

Les faciès sédimentaires à dominante sableuse ($>50\mu\text{m}$) résultent de différents types de modes de transport : par charriage (roulage), par saltation ou encore, pour les particules les plus fines, en suspension. La structure sédimentaire qui dépend principalement de trois paramètres, la taille des grains de sable, la profondeur et la vitesse d'écoulement de flux, permet ainsi de différencier les différents milieux de sédimentation.

Lithofaciès Sp : Stratification planaire sableuse

Ces dépôts de nature sableuse correspondent aux rides qui migrent sous l'action tractive des courants dans des eaux peu profondes. Ils témoignent soit d'épisodes hydrologiques d'intensité modérée soit d'épisodes de décrue. Ils sont issus d'un transport par saltation ou suspension graduée.

Lithofaciès Sl : Stratification entrecroisée sableuse

Ce type de formation est constitué des sables grossiers à fins. La structure entrecroisée indique qu'ils correspondent à des dépôts de chenaux. Elle résulte de la migration de rides situées au sein du chenal (bancs médians et latéraux) pendant les épisodes de crue.

Lithofaciès Sm : Sable à structure massive

Formation constituée de sables moyens relativement homométriques, située dans la zone de sédimentation. D'une hauteur de plusieurs décimètres à plus d'un mètre parfois, ces

dépôts ne présentent pas de laminations visibles. Cela peut être en raison d'une transformation postdépôtive par des processus de pédogénèse tels que le lessivage ou la bioturbation, mais cela peut résulter aussi d'un dépôt par gravité lors d'un épisode de crue et de l'atténuation des écoulements au sein d'une vaste plaine d'inondation.

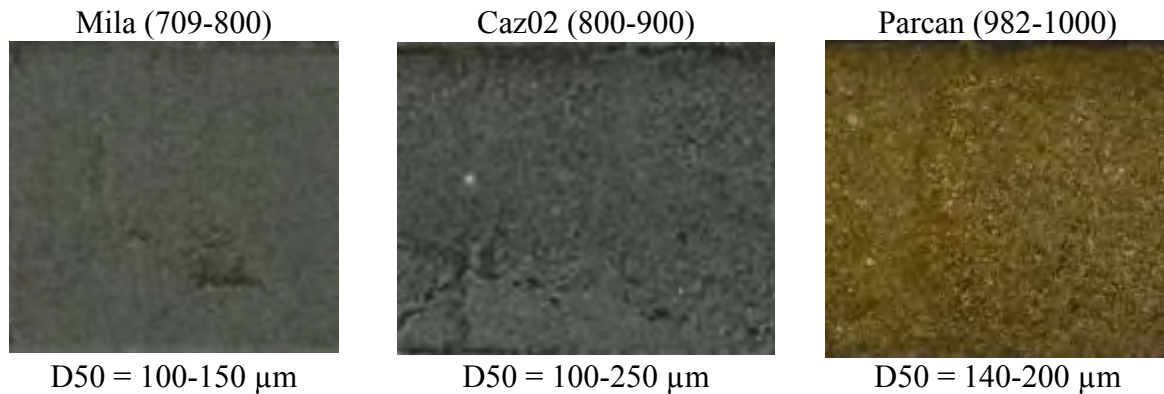


Fig.5.6 Différents faciès sédimentaires associés aux dépôts des sables à structure massive

Méandre déconnecté/ Bras mort

Lithofaciès Sh : Stratification horizontale sableuse

La granulométrie de cette formation sédimentaire est plus fine que celle de S1 puisqu'elle est composée de lits de sable fins à moyens. Ainsi, ils résultent d'un transport par suspension graduée pendant les épisodes de crue, puis ils sont déposés au sein de la plaine d'inondation proximale (*sand sheet deposits*). D'une épaisseur allant de quelques centimètres à plusieurs décimètres, ils sont parfois déposés lors d'une crue éclair (*flash flood*). Ils alternent souvent avec le faciès F1.

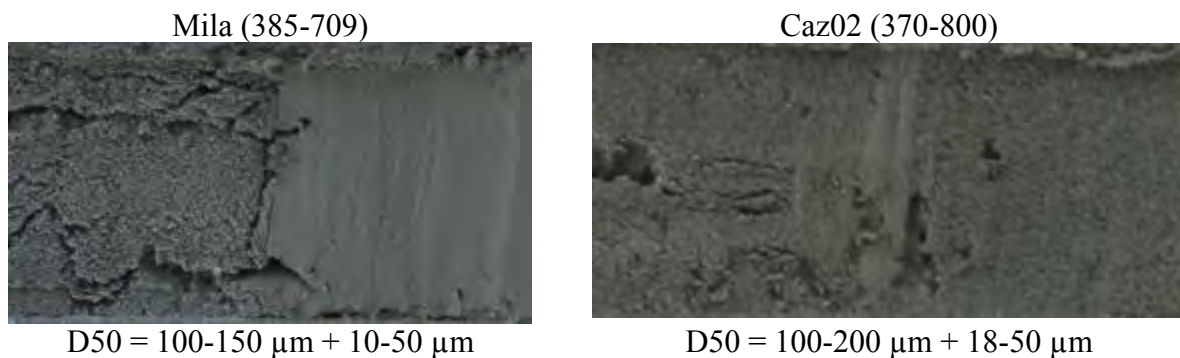


Fig.5.7 Différents faciès sédimentaires associés aux dépôts avec une stratification horizontale sableuse

5.2.2.2 Les dépôts de plaine d'inondation

Au sein de la plaine alluviale, il est possible de distinguer plusieurs types de faciès sédimentaires qui correspondent à des milieux de sédimentation et à des processus variés. On observe une logique de répartition des dépôts au sein de la plaine d'inondation avec une granulométrie et une épaisseur des sédiments qui décroissent à mesure que l'on s'éloigne du chenal. Les sables se déposent à proximité (Wolman & Leopold, 1957 ; Bridge & Leeder, 1979). La nature des dépôts est contrôlée par la charge solide disponible, la vitesse et

l'épaisseur de la lame d'eau débordante. Le dépôt de sédiments fins issus de la suspension exhausse la plaine d'inondation et réduit progressivement la fréquence de l'inondation (Bravard & Petit, 1997). De même, le débordement répété par-dessus les berges lors des épisodes de crues entraîne l'édification de levées alluviales (bourrelets de berge) par les sables transportés par suspension. En contrebas de ces levées se forment des dépressions (backswamp) dans lesquelles les eaux se rassemblent et stagnent plus ou moins longtemps. Ces dernières sont sujettes à une forte concentration en restes organiques.

Lithofaciès Fl : Alternance des lits de sable et de lits limono-argileux.

Ce type de lithofaciès est facilement identifiable sur le terrain car il correspond à une formation rythmée marquée par l'alternance de lits plus ou moins épais (de quelques millimètres à quelques centimètres) de sables et de limons argileux, souvent riches en charbon et restes foliaires. Ces dépôts indiquent un mode de dépôt saisonnier au sein de la plaine alluviale (Le Drézen et al, 2010). Ils se caractérisent par un apport sédimentaire sableux transporté pendant la crue par suspension graduée puis déposé lors de l'atténuation des écoulements. Ces dépôts sont surmontés par une couche plus fine de nature limono-argileuse issue d'un dépôt par décantation lors du début de la saison sèche.

Lithofaciès Fsm : Alternance de lits limoneux et de lits limono-argileux

La principale caractéristique de ce faciès sédimentaire et ce qui le distingue de Fl est l'absence des lits sableux. Ces dépôts sont aussi caractérisés par une alternance entre les sédiments limoneux issus d'un transport par suspension en mode calme au sein d'une plaine alluviale marécageuse (*swampy floodplain*) lors de la saison humide et des dépôts plus fins de nature limono-argileuse qui suggèrent une sédimentation par décantation au sein des mares.

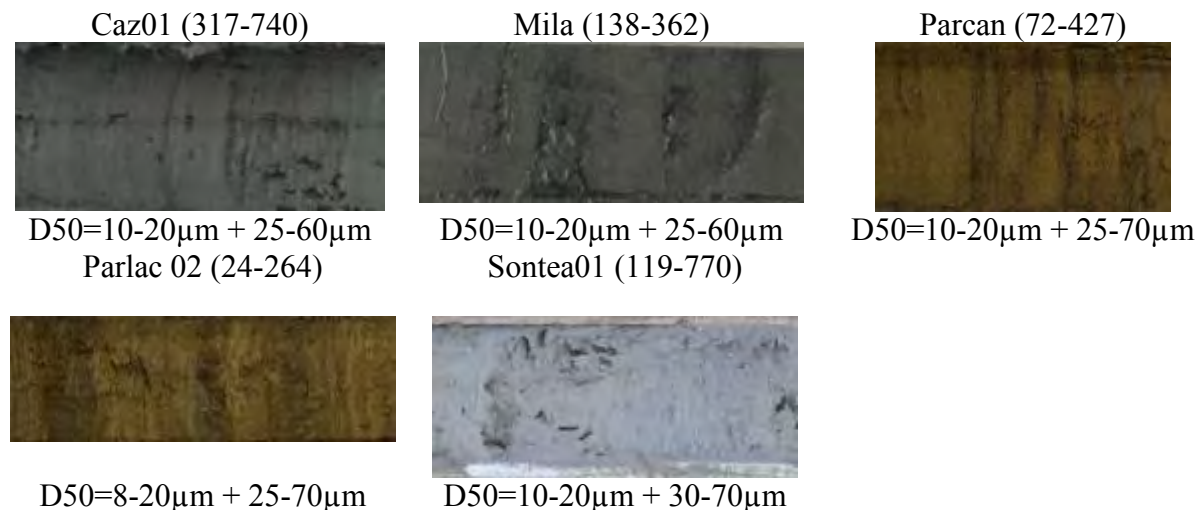


Fig.5.8 Différents faciès sédimentaires associés à l'alternance de lits limoneux et de lits limono-argileux

Lithofaciès Fr – Root bed

Ce lithofaciès est commun dans les plaines inondables végétalisées. Il représente le développement du sol dans un milieu humide. La lithologie hôte peut être du sable, du limon

ou de l'argile, avec une stratification cachée ou détruite par la mise en place des racines et bioturbation, donnant les lits d'une apparence tachetée/marbrée. On retrouve souvent ce faciès dans la partie supérieure de la carotte, souvent perturbé par les aménagements.

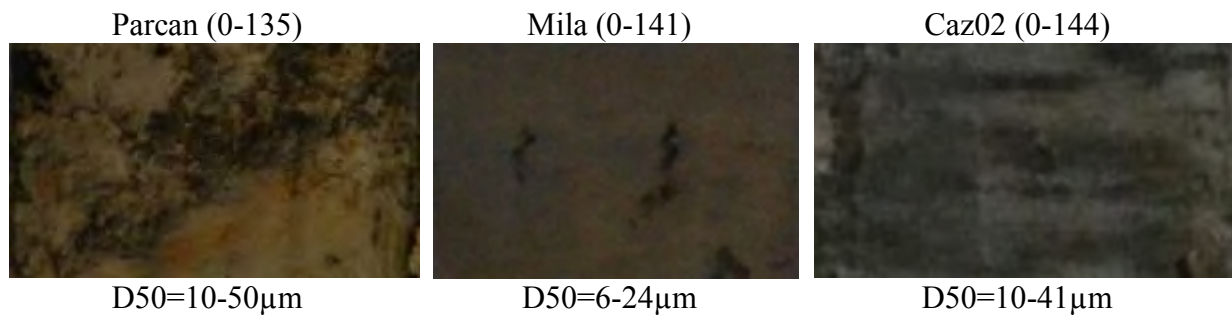


Fig.5.9 Différents faciès sédimentaires associés aux dépôts des plaines inondables végétalisées

5.2.2.3 Les dépôts en milieu calme (lac, mare)

Lithofaciès Fm : Limons-argileux à structure massive

Ces dépôts sont composés de sédiments fins limono-argileux issus d'une sédimentation par décantation au sein de plans d'eaux permanents. Ils indiquent des milieux calmes et sont notamment riches en matière organique.

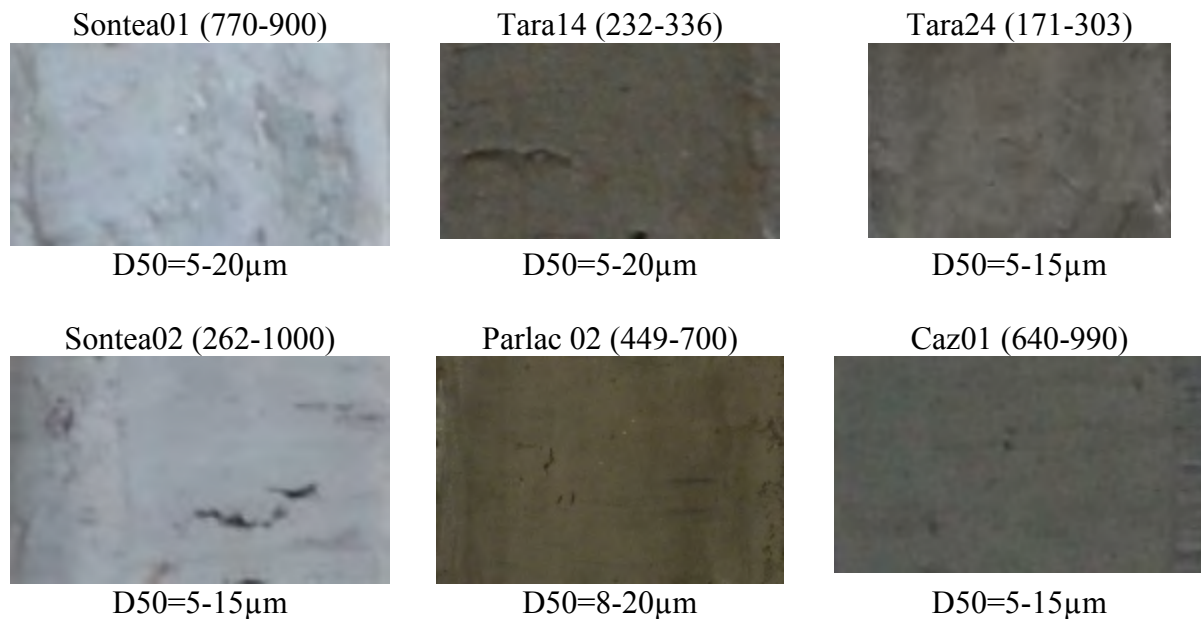


Fig.5.10 Différents faciès sédimentaires associés aux dépôts limons-argileux à structure massive

Lithofaciès Fcf – *Claystone with freshwater Molluscs*

Lithofaciès proposé par McLean et Jerzykiewicz en 1978 qui, d'un point de vue lithologique, sont identiques au lithofaciès Fm, mais s'en distinguent néanmoins par la présence de coquillages.

5.2.2.4 Paleosols

Lithofaciès P – *Pedogenic carbonates*

Une très grande variété de structures et textures se développent là où les plaines d'inondations sont exposées aux conditions météorologiques de surface et aux actions subaériennes pendant de longues périodes. La géochimie et la texture des sols sont fortement liées aux conditions locales, aux taux de sédimentation et aux évolutions des plaines d'inondations. Les trois caractéristiques principales des sols sont les racines ou plutôt les traces des racines, les horizons du sol et la structure du sol.



Fig.5.11 Différents faciès sédimentaires associés aux paleosols

5.3 La spectrocolorimétrie et la susceptibilité magnétique

Des mesures de susceptibilité magnétique (Fig.5.6 a) et de spectro-colorimétrie (Fig.5.6 b) ont été réalisées sur les carottes tubées, pour affiner le repérage des niveaux stratigraphiques et compléter leur description. Ce sont des méthodes qui nous fournissent des données rapides, de haute résolution et sans détruire la colonne sédimentaire.

5.3.1 Spectrocolorimétrie

La couleur est une propriété fondamentale des sédiments et elle est souvent utilisée dans les descriptions des colonnes sédimentaires pour identifier les différentes couches et niveaux. Toutefois, l'information sédimentaire contenue dans ce paramètre est difficile à extraire, parce qu'il est difficile de la quantifier hormis par des mesures de spectrocolorimétrie.

Toutes les carottes tubées ont fait l'objet de mesures (Fig.5,12). Sur la moitié d'une carotte ouverte on dépose un film de polyéthylène avec précaution afin d'éviter la formation de bulles d'air ou de pli du film pouvant entraîner une réflexion biaisée. En cas de sédiment très sec, la carotte a été légèrement humidifiée par vaporisation d'eau. Pour le calibrage du blanc de l'appareil nous avons utilisé le protocole de Balsam et al. (1997) qui calibre l'appareil sans film puisqu'il est programmé pour recevoir une certaine valeur de réflectance pour le blanc standard. Ce dernier est calibré au début de chaque mètre (environ 200 mesures) pour éviter tout écart potentiel du spectrocolorimètre.



a. Spectrocolorimétrie



b. Susceptibilité magnétique

Fig.5.12 Mesures de spectro-colorimétrie et de susceptibilité magnétique

Photos : M.David & T.Groparu

Les mesures ont été réalisées avec le spectrophotomètre Konica-Minolta CM 700D du laboratoire GEODE, décomposant le spectre de réflectance dans le domaine du spectre visible de 360 à 740 nm avec un pas de 10 nm, mètre par mètre, pour chaque carotte, à raison d'un relevé tous les 0,5 centimètres. 7 carottes qui totalisent 53 mètres ont fait l'objet des mesures de spectrocolorimétrie. A la fin des mesures les données ont été téléchargées dans l'ordinateur via le logiciel Spectramagic. Les informations sont ensuite exportées du logiciel sous la forme d'un fichier txt. Pour chaque mesure nous avons les valeurs du L^* , a^* , b^* , ainsi que les longueurs d'onde de 360nm à 740 nm. L^* est le plus couramment employé pour estimer l'évolution des carbonates dans le sédiment (Schneider et al., 1995 ; Balsam et al., 1999) et même plus précisément de l'aragonite dans le cas des sédiments des Bahamas (Roth et Reijmer, 2005). Les paramètres a^* et b^* sont plus rarement utilisés : Helmke et al. (2002) ont interprété a^* comme un marqueur des dépôts d'IRD (*Ice Raft Detritus*), alors que Debret et al (2005) ont montré l'intérêt de b^* comme marqueur d'environnements anoxiques dans un fjord de l'île de Vancouver (Canada).

Dans un tableau Excel nous avons calculé les dérivés des longueurs d'ondes selon la formule : dérivé $365 = (370-360)/10$. Les dérivés correspondant aux valeurs d'ondes comprises entre 360 et 390, et 710 et 740 sont 0 et ont été enlevées, donc il nous reste les dérivés de 405 à 695. Nous avons créé un tableau sous Excel avec trois colonnes : x = profondeur, y = dérivé et z = valeur du dérivé. Les premières 30 lignes du tableau sont les valeurs des dérivés correspondant aux dérivés calculés pour la première mesure, les 30 lignes suivantes aux dérivés (405 à 695) à la deuxième et ensuite jusqu'à la dernière mesure réalisée sur une carotte. Le fichier obtenu a été importé sous ArcGis en tant que données xy et, à l'aide du Module *Geostatistical Analyst* et *Geostatistical Wizard*, une image a été produite (Fig.5.13) en utilisant *Diffusion Kernel*, ayant comme champ de données la colonne z de notre fichier Excel.

Les images obtenues ont été ajoutées sur les logs des descriptions des carottes et nous ont aidées à mieux identifier les différents niveaux composant une carotte.

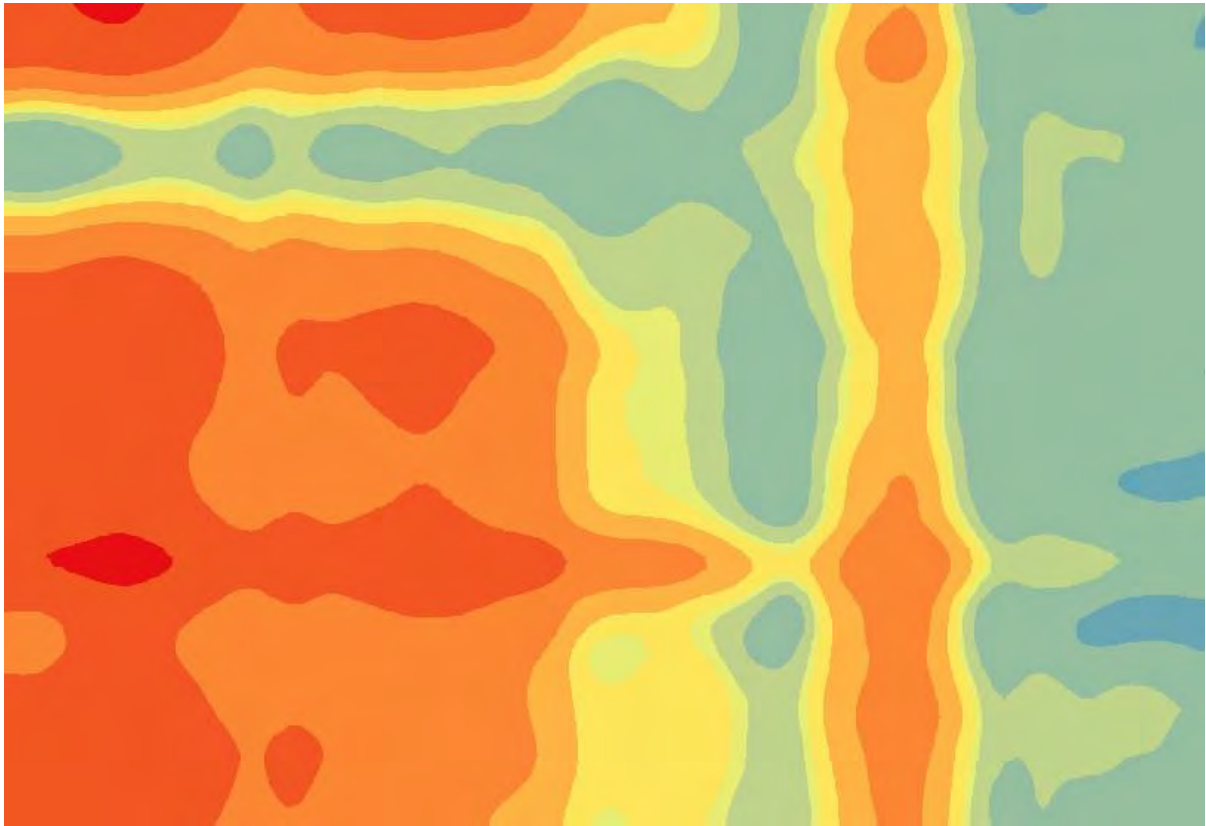


Fig.5.13 L'image spectrocolorimétrique du mètre 300-400 de la carotte Caz01

Les travaux de Baranco et al. (1989), Deaton & Balsam (1991), Balsam & Deaton (1991, 1996), Balsam et al. (1998), Mix et al. (1992) et Debret et al. (2005) ont permis de distinguer de nombreux composants des sédiments puisque les pics de dérivées premières des spectres entre 400 et 700 nm sont indicateurs de composants spécifiques du sédiment : 445 nm et 525 nm : goethite ; 555, 565, 575 nm : hématite; de 605 à 695 nm : matière organique. Mais le spectre de réflectance dans le domaine du visible permet aussi l'identification d'oxydes de fer, de minéraux argileux tels que l'illite et la montmorillonite, et chlorite, calcite et des composants organiques du sédiment dans des conditions particulières (Deaton & Balsam, 1991; Balsam et al., 1998; Balsam & Beeson, 2003).

Debret M. (2005), à partir de données de spectrocolorimétrie obtenues sur une carotte de 14 m du lac du Bourget (carotte sédimentaire humide, couverte par un film protecteur) propose un diagramme d'évaluation des composés sédimentaires avec la réflectance, L^* , en abscisse en fonction du rapport de la longueur d'onde 700 nm sur 400 nm. Les différents faciès de la carotte sont très nettement identifiés et permettent de distinguer 3 pôles : matière organique, carbonates, et un pôle plus détritique/argileux (Fig.5.14).

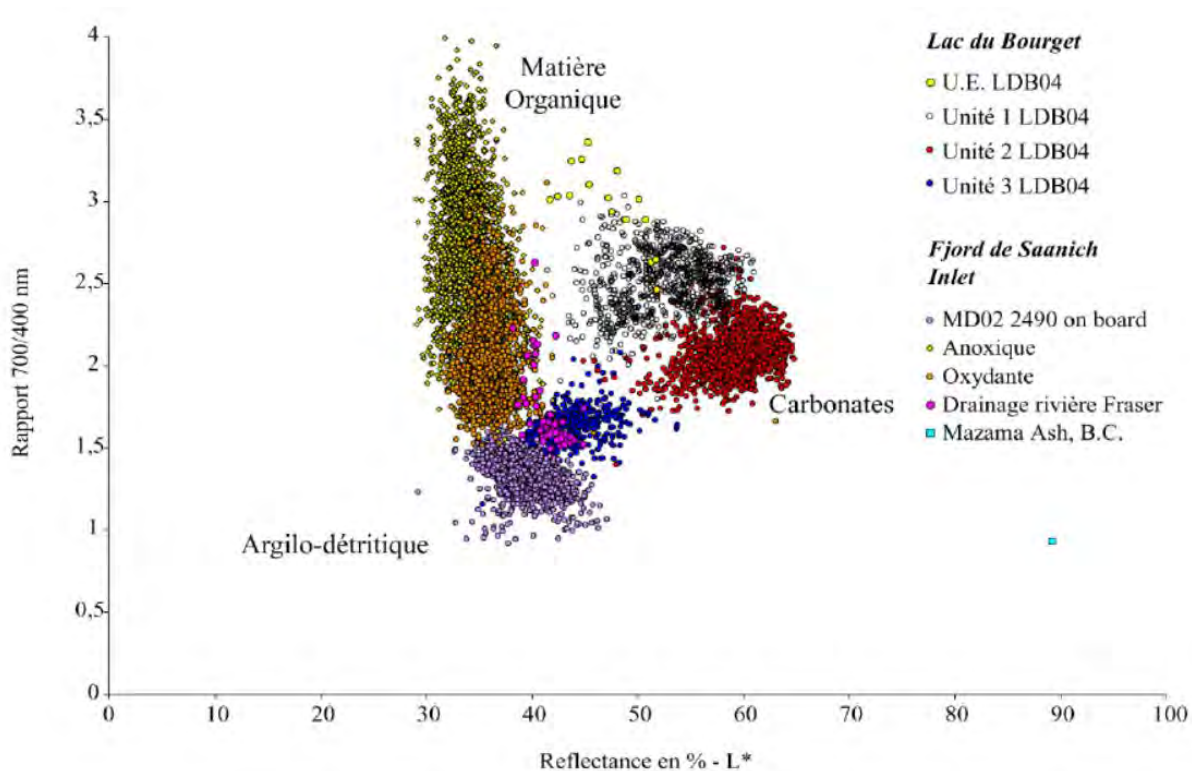


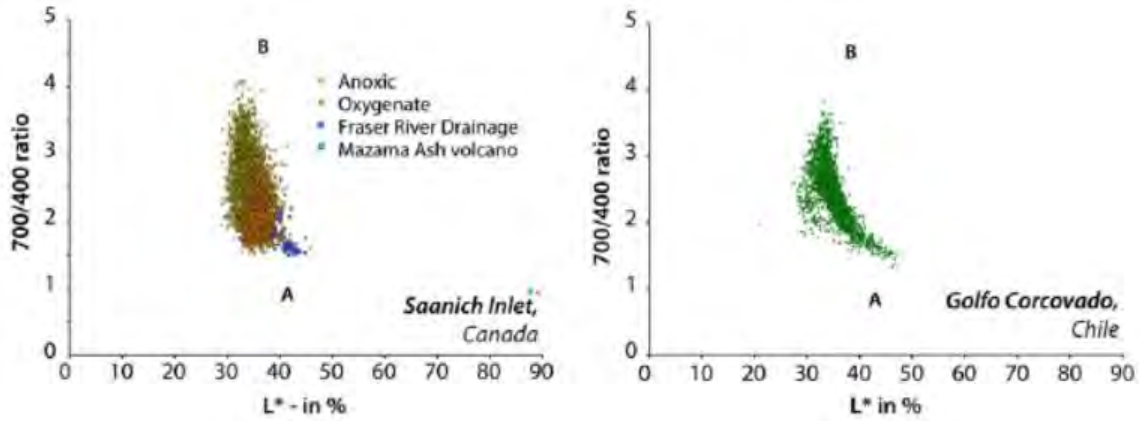
Fig.5.14 Diagramme d'évaluation des différents pôles sédimentaires

Source : Debret M., 2005

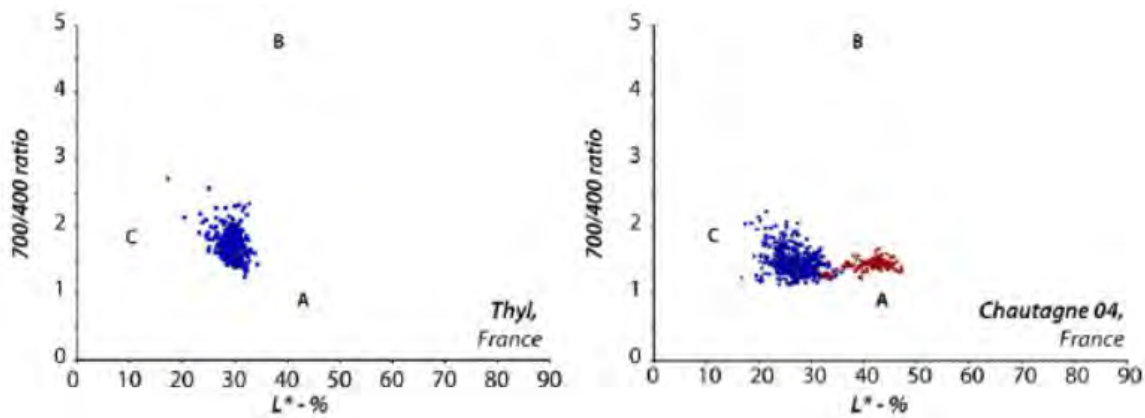
Pour rendre compte de la validité de ce modèle, il a été testé avec les sédiments anoxiques du fjord de Saanich Inlet dont la réflectance a été étudiée dans le détail. La sédimentation dans le bassin peut se simplifier entre 2 pôles, un détritique et un second riche en matière organique. Dans le diagramme, le fjord de Saanich Inlet, montre parfaitement ces deux pôles de sédimentation. Les dépôts glacio-lacustres provenant du drainage d'un lac proglaciaire, dépourvu de matière organique et dominé par l'illite-muscovite, se séparent de la masse de point pour venir se placer dans le domaine argilo-détritique défini par le lac du Bourget.

Ce modèle a été développé et amélioré à l'aide d'autres données en provenance de fjords (Golfe de Corcovado, Chili ; Seno Reloncavi, Chili), tourbières (*palustrine environments*) (le Thyl et Marais de Chautagne, Alpes françaises) et lacs (Lac Cointzio, Mexique ; Lac Ossa, Cameroun) (Fig.5.15). (Debret et al., 2011).

Fjords



Tourbières



Lacs

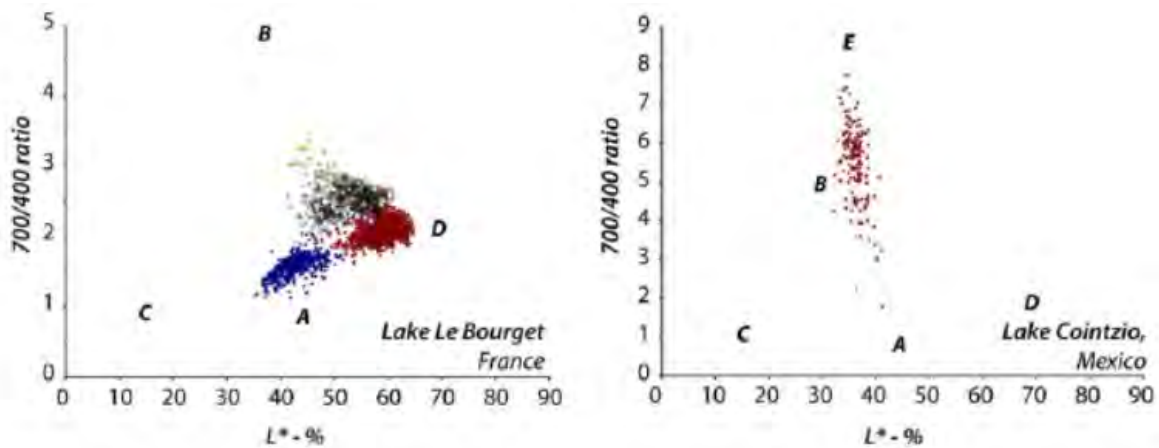


Fig.5.15 Données sédimentaires de différentes provenances

Source : Debret et al. , 2011

La comparaison entre les différents enregistrements sédimentaires (fjords, tourbières, lacs) a permis d'identifier 5 pôles (A, B, C, D et E) (Fig.5.16) caractérisés par des valeurs extrêmes de L* (20 à 30% et 60 à 70%) et Q7/4 (1.5 à 2 et 8 à 9). La signature de chaque formation sédimentaire peut être décrite par un nuage de points rapprochés d'un pôle (le cas du Lac Bourget) ou un nuage dessiné entre 2 pôles (le cas général) ou bien 3 pôles.

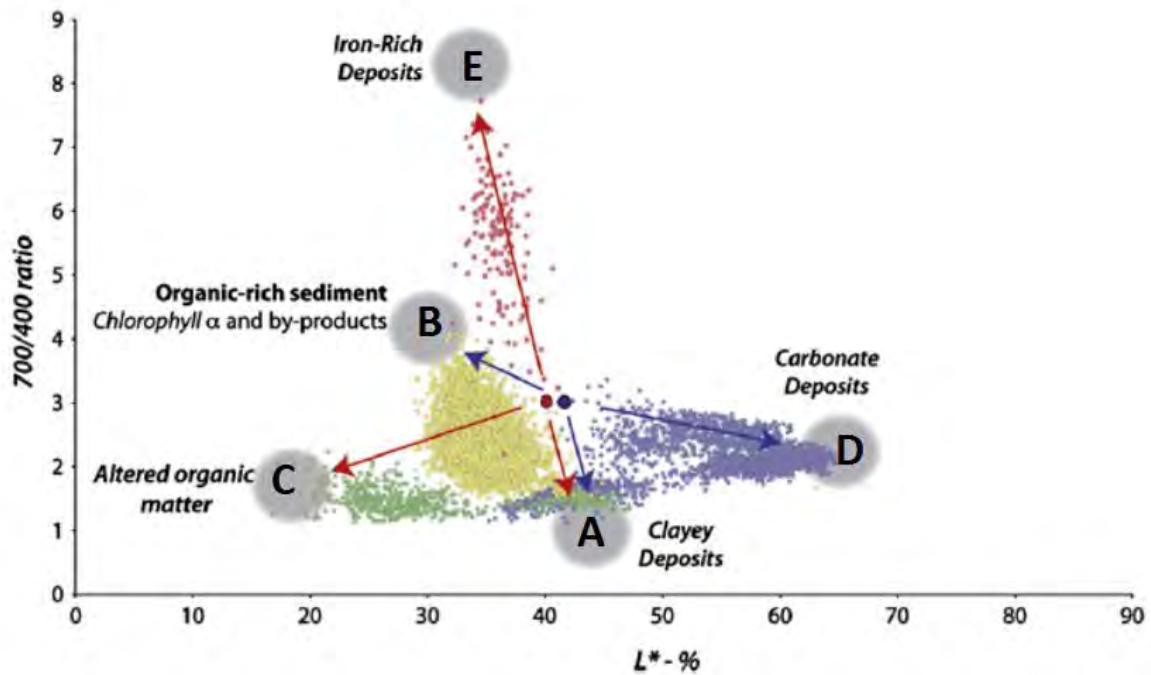


Fig.5.16 Comparaison entre différents enregistrements sédimentaires

Source : Debret et al, 2011

Pôle A : Argilo-détritique (*Clayey deposits*)

Le premier pôle (A) est caractérisé par un rapport Q7/4 très bas (1.5 à 2) et par des valeurs moyennes du L* (de 35 à 50%). Ce pôle se retrouve dans la plupart des environnements analysés, mais plus particulièrement dans le cas du Lac Bourget.

Pôle B : Matière organique (*Chlorophyll and by-products*)

Le deuxième pôle (B) est caractérisé par un rapport Q 7/4 élevé (plus de 3) et des valeurs L* moyennes (au tour de 40%). Ce pôle se retrouve dans la plupart des environnements mais il est mis en évidence surtout dans les cas des fjords et du Lac Bourget, qui montrent une signature verticale commençant du pôle A (argilo-détritique) vers le pôle B.

Pôle C : Matière organique altérée (*Altered organic matter*)

Le troisième pôle est caractérisé par des valeurs de L* basses (moins de 35%) et des valeurs basses du rapport Q7/4 (moins de 3). Ce pôle se retrouve dans les environnements palustres (tourbieres).

Pôle D : Carbonates (*Carbonate Deposits*)

Le quatrième pôle est caractérisé par des valeurs L* élevées (plus de 50%) et par des valeurs du rapport Q7/4 moyennes (entre 2 et 3). Ce pôle est visible dans le cas du Lac Bourget qui donne la signature caractéristique. Ce pôle a les valeurs L* les plus élevées.

Pôle E : Oxydes de fer (*Iron-rich deposits*)

Les valeurs de L^* pour ce pôle sont proches des celles du pôle « Matière organique », mais les valeurs du rapport $Q7/4$ sont beaucoup plus élevées, arrivant à plus de 8 dans le cas du Lac Cointzio (Mexique), l'endroit où ce pôle est le mieux mis en évidence.

Nous avons testé cette méthode et nous avons projeté nos résultats (en noir) obtenus suite aux mesures de spectrocromimétrie sur le diagramme $Q7/4$:

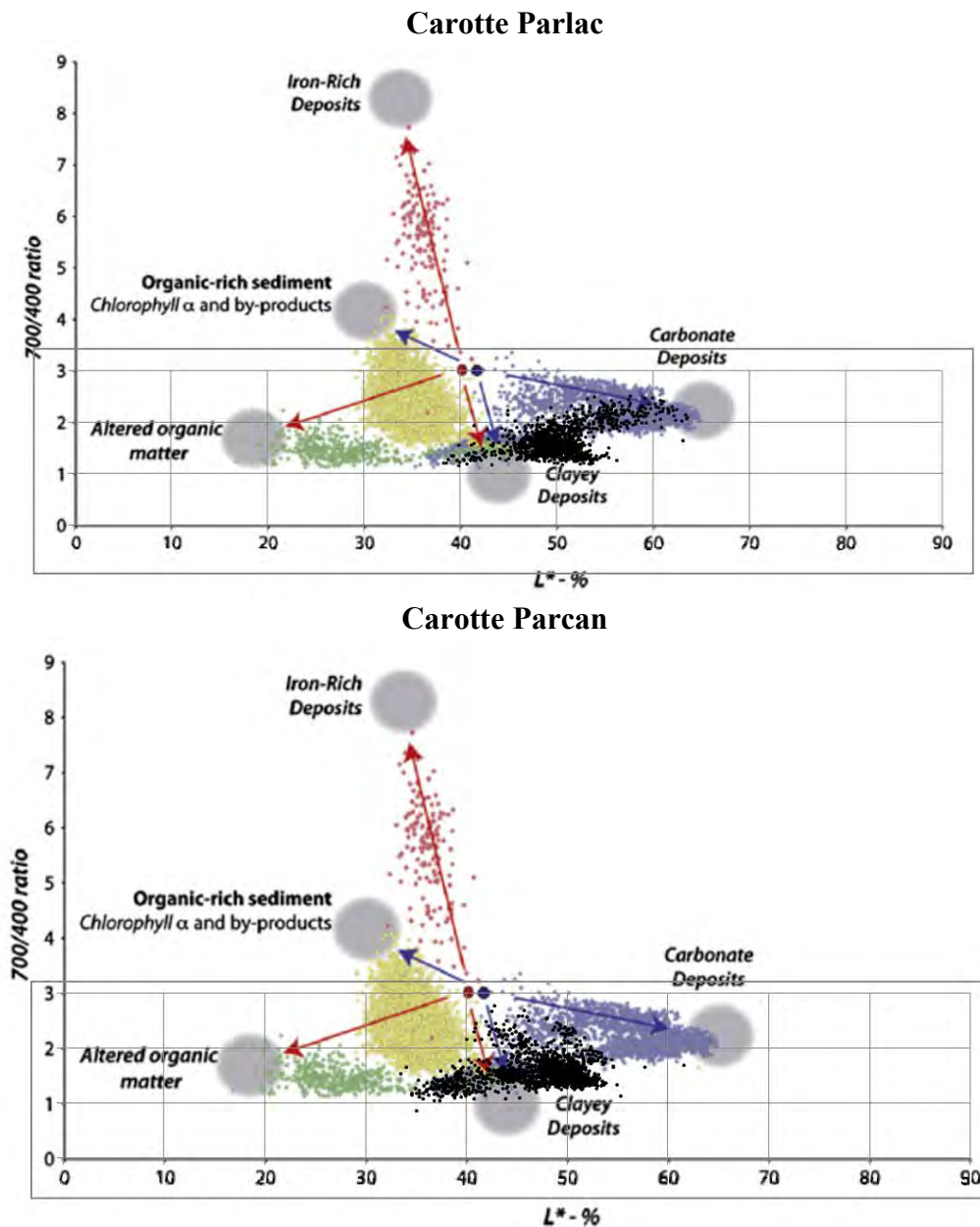


Fig.5.17 Projection des données en provenance de la Région Pardina sur le diagramme des pôles sédimentaires

Pour la région de Pardina (Fig.5.17) nous avons des mesures de spectrocromimétrie pour les carottes Parlac (7m) et Parcan (10m). On remarque la concentration des valeurs pour les deux carottes vers le pôle argilo-détritique avec une tendance vers le pôle des carbonates

pour la carotte Parlac et une faible tendance vers le pôle matière organique pour la carotte Parcan.

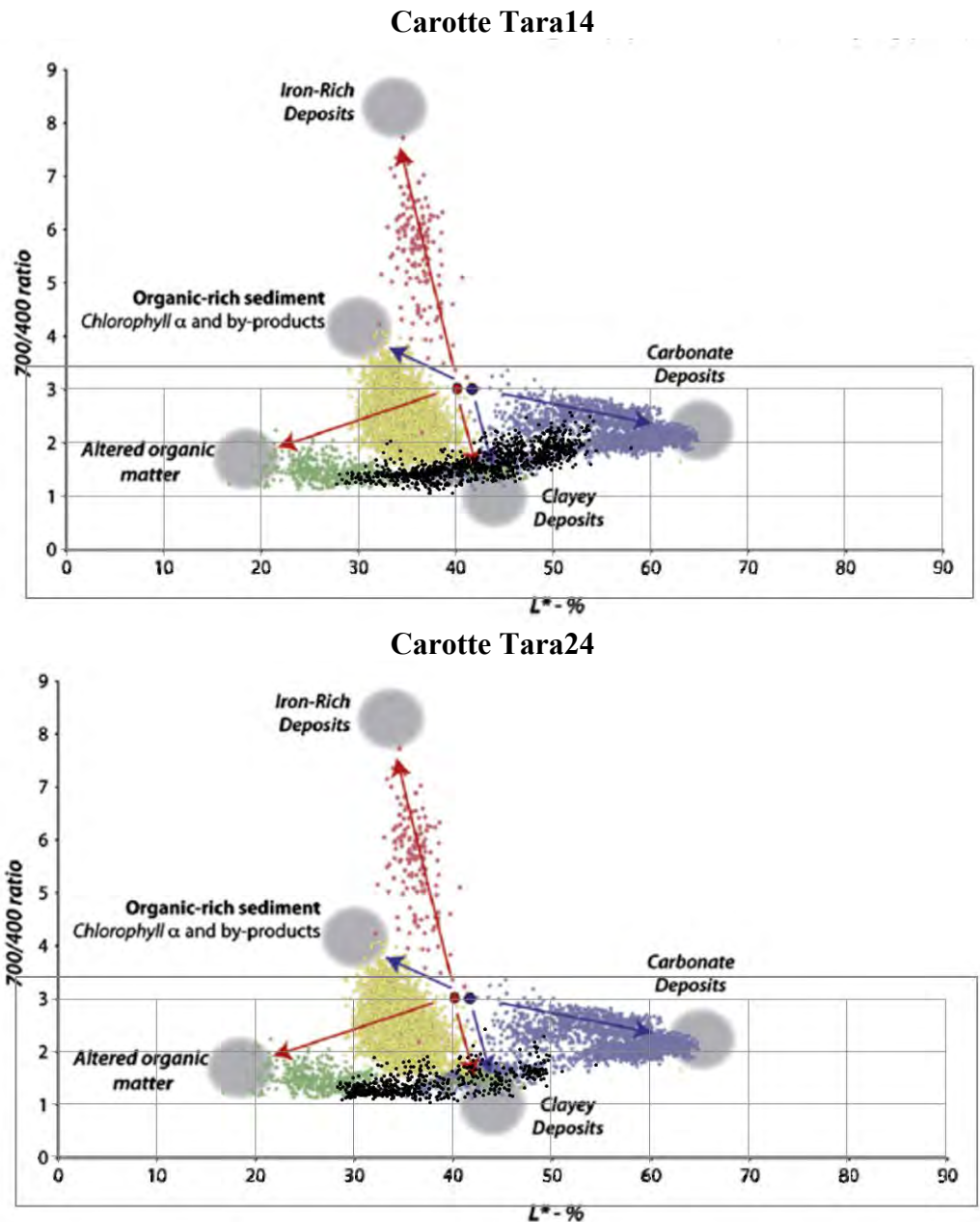
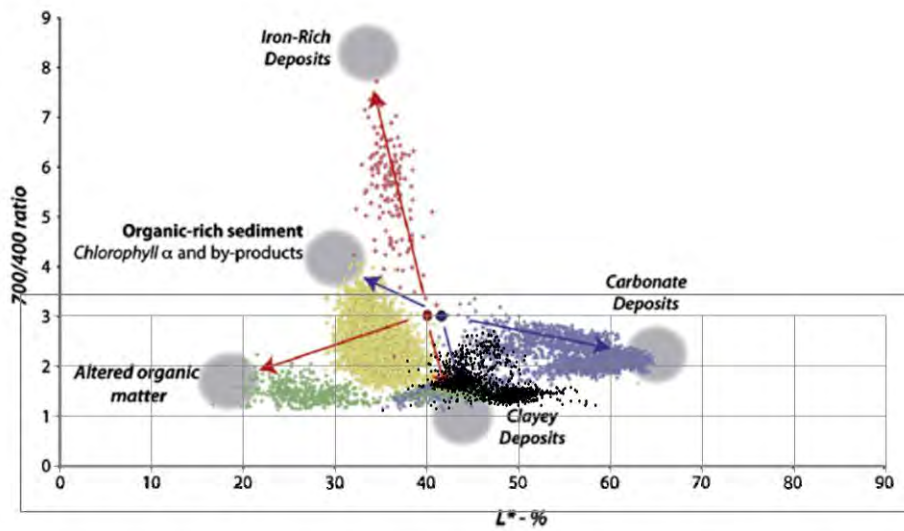


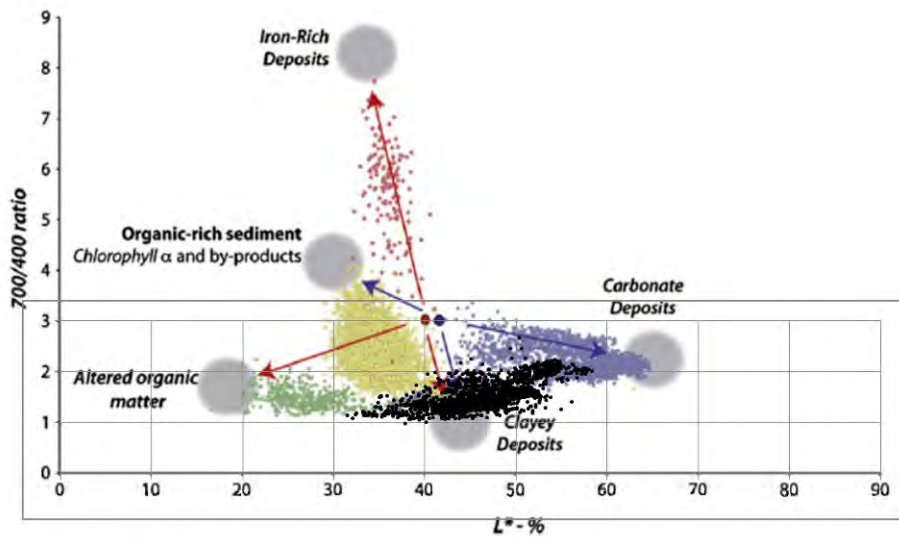
Fig.5.18 Projection des données en provenance de la Région Sontea-Fortuna sur le diagramme des pôles sédimentaires

Pour la région Sontea-Fortuna (Fig.5.18) nous avons des mesures de spectroradiométrie pour les carottes Tara14 (6m) et Tara24 (3m). On remarque pour la carotte Tara14 la répartition des mesures entre 3 pôles. Le pôle central est le pôle argilo-détritique, avec une tendance vers le pôle des carbonates et aussi vers le pôle de la matière organique altérée. Pour la carotte Tara24 on constate le regroupement autour du pôle argilo-détritique, avec une tendance vers le pôle de la matière organique altérée.

Carotte Mila



Carotte Caz01



Carotte Caz02

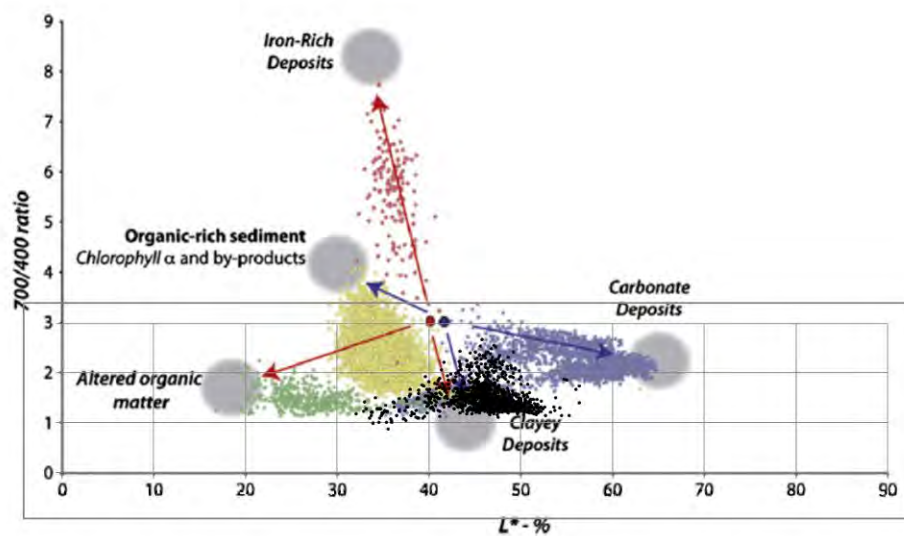
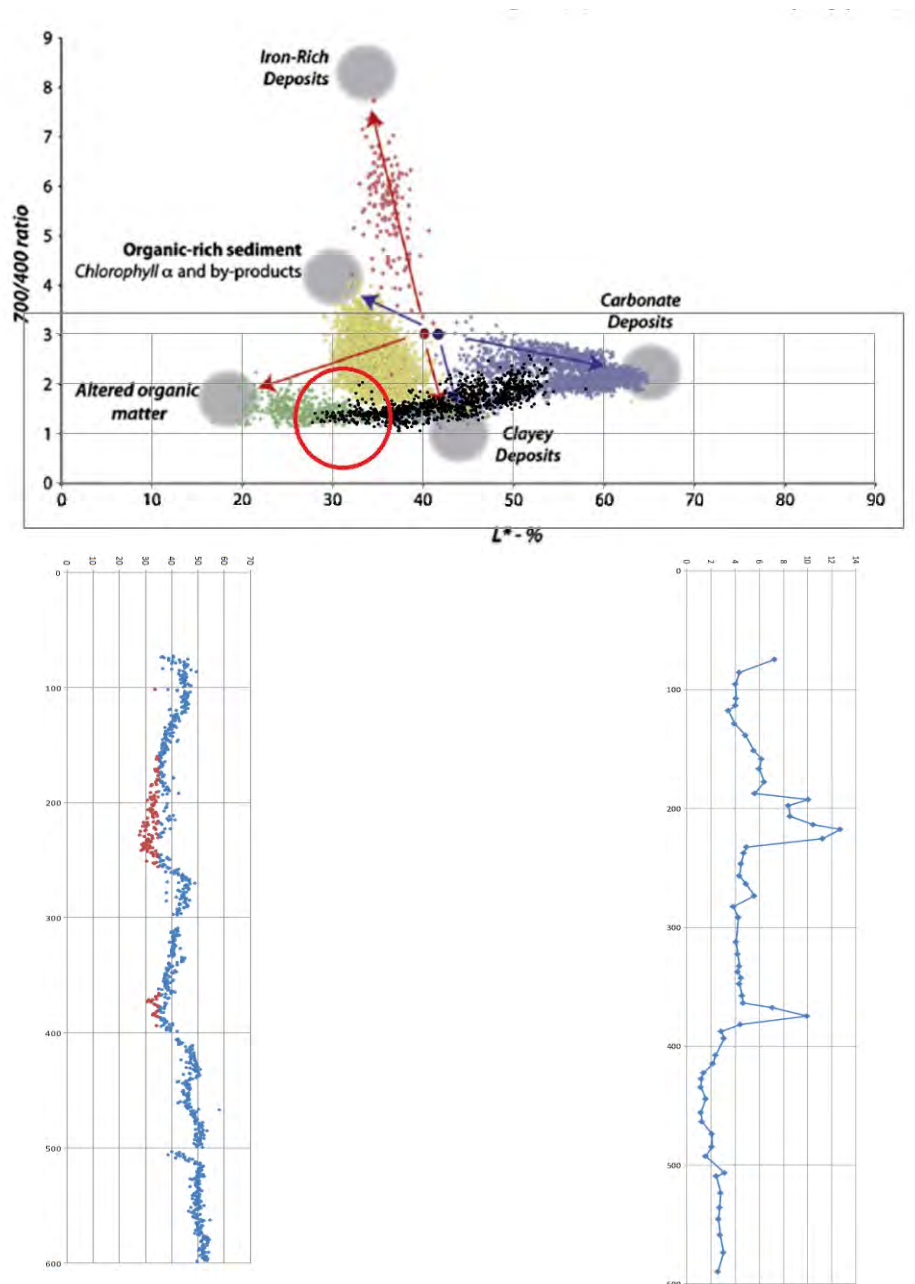


Fig.5.19 Projection des données en provenance de la Région Les méandres de Mila sur le diagramme des pôles sédimentaires

Pour la région « Les méandres du Mila » (Fig.5.19) nous avons des mesures de spectrorimétrie pour les 3 carottes effectuées dans cette zone : Mila (8m), Caz01 (10m), Caz02 (8m). Le pôle dominant dans les 3 carottes reste toujours le pôle argilo-détritique. Dans le cas de la carotte Mila on constate une tendance vers le pôle des carbonates. On retrouve la même tendance pour la carotte Caz02, mais aussi une vague tendance vers le pôle de la matière organique altérée. La carotte Caz01 est caractérisée par des tendances plus fortes en direction des pôles des carbonates et de la matière organique altérée.

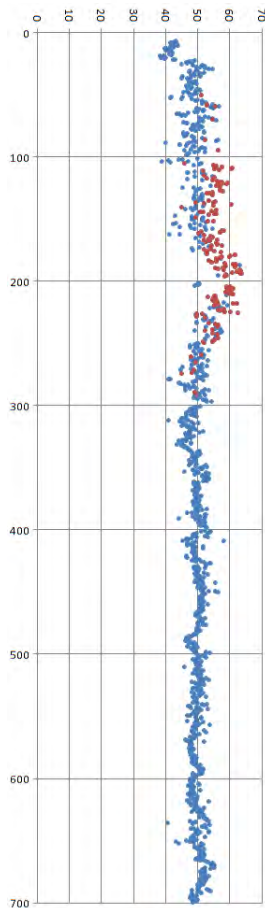
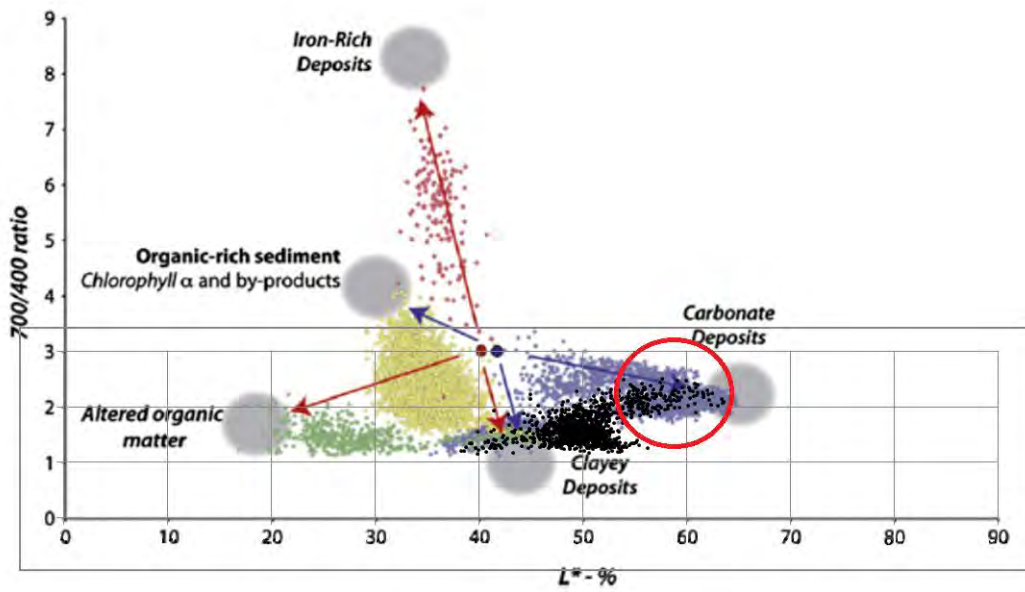
Les résultats comparatifs entre le diagramme Q 7/4 et les résultats de perte au feu pour deux exemples, les carottes Tara14 et Parlac, sont mitigés.



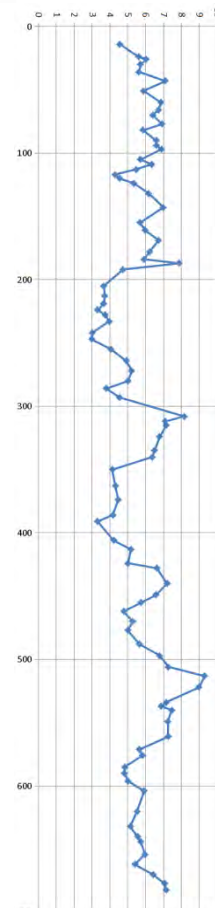
Localisation des mesures pour le pôle de matière organique altéré

Perte au feu matière organique

Fig.5.20 Comparaison matière organique entre les résultats perte au feu et mesures de spectrorimétrie pour la carotte Tara14



Localisation des mesures pour le pôle des carbonates



Perte au feu Carbonates

Fig.5.21 Comparaison carbonates entre les résultats perte au feu et mesures de spectrocolorimétrie pour la carotte Parlac

Si dans le cas des carottes Tara14 (Fig.5.20) ou Tara24 les résultats, en ce qui concerne la matière organique, sont plutôt bons pour la carotte Tara14 et assez intéressants

pour Tara24, dans d'autres cas (pour les carbonates dans les carottes Parlac (Fig.5.21) et Caz01) les résultats ne sont pas équivalents.

5.3.2 Susceptibilité magnétique

La susceptibilité magnétique des sédiments reflète leur teneur en minéraux magnétiques. Celle-ci varie sous l'effet de la nature, la forme et la taille des minéraux (Thompson & Morton, 1979), ce qui rend l'interprétation de son évolution verticale particulièrement complexe. Néanmoins, couplée avec d'autres paramètres tels que la granularité, elle peut permettre de distinguer diverses dynamiques environnementales : pédogénèse, érosion des sols (Dearing et al., 1996), activité hydrologique accrue (Arnaud et al., 2005) ou encore réactivation hydro-sédimentaire des chenaux (Castanet et al., 2007).

Les mesures ont été réalisées avec le susceptibilimètre *Bartington* MS3 du laboratoire GEODE à raison d'un relevé par centimètre (Fig.5.22). Toutes les carottes tubées ont fait l'objet des mesures, donc 7 carottes qui totalisent 53 mètres. Pour protéger le capteur de l'appareil un film de polyéthylène a été déposé sur la moitié d'une carotte ouverte avec précaution afin d'éviter la formation de bulles d'air ou de pli du film pouvant entraîner une falsification des résultats. La calibration du capteur a été effectuée au début de chaque séance de mesures à l'aide de l'échantillon fourni avec l'appareil jusqu'à ce que la valeur obtenue suite aux mesures successives devienne stable.

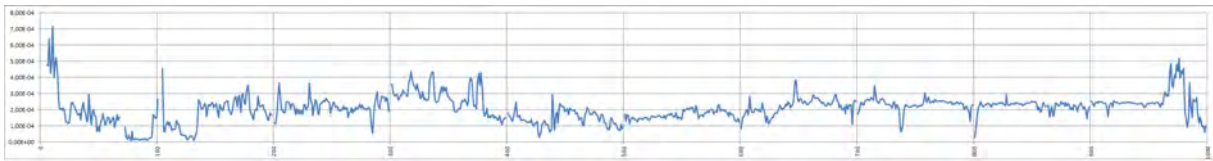


Fig.5.22 Les mesures de susceptibilité magnétique de la carotte ParLac

Les variations notables du signal magnétique correspondaient soit à des niveaux très organiques (valeurs faibles voire négatives ; diamagnétisme), soit à des niveaux d'oxydes de fer (signal élevé ; ferrimagnétisme ou antiferromagnétisme ; Dearing, 1994). En outre, elles pourraient révéler la présence d'un paléosol (Schwertmann, 1988), ce qui en fait un bon marqueur paléoenvironnemental.

5.4 La granulométrie et l'imageCM

5.4.1 La granulométrie

La granulométrie des dépôts sédimentaires résulte directement de l'énergie de l'agent de transport. Plus la compétence de cet agent est importante, plus les sédiments transportés sont grossiers. La présence de structures litées, alternant des niveaux plus grossiers et plus fins, est donc révélatrice d'une variabilité hydrologique. L'image CM permet de préciser le mode de transport des sédiments. Trois indices définis par Folk et Ward (1957) ont été

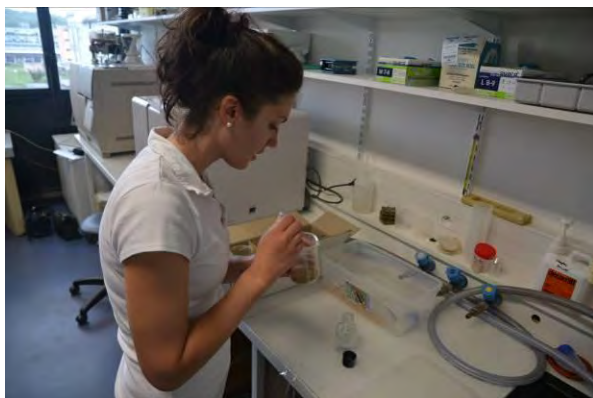
quantifiés pour préciser les dynamiques de transport et de dépôt (Fig.5.23). Le grain moyen (GM) mesure la compétence moyenne du flux liquide. Il est exprimé en microns. L'indice d'asymétrie (*Skewness*, Sk) informe sur l'environnement et la dynamique des dépôts. Une asymétrie positive ($1 > Sk > 0$) renvoie à un meilleur classement des particules grossières, ce qui révèle généralement un enrichissement en particules fines (décantation en fin de crue, par exemple). À l'inverse, une asymétrie négative ($0 > Sk > -1$) traduit un bon classement des particules fines et un enrichissement en particules grossières, telle que l'injection de sables dans un milieu peu énergétique (Arnaud-Fassetta, 2000). L'asymétrie est exprimée en *phi*, comme l'indice de tri. Ce dernier indice de tri (*Sorting index*, σ) renseigne sur l'énergie de l'agent de transport et la régularité des flux : un mauvais tri reflète des dynamiques de transport irrégulières alors qu'un bon tri traduit des conditions d'énergie régulières. Ces trois indices ont été calculés à partir des centiles P5, P16, P50, P84 et P95 avec le programme Gradistat version 8.0.

| Grain moyen | Indice d'asymétrie (<i>Skewness</i>) | Indice de tri (<i>Sorting</i>) |
|---|--|---|
| $GM = \exp \frac{\ln P16 + \ln P50 + \ln P84}{3}$ | $Sk = \frac{(P84 + P16 - 2P50)}{2(P84 - P16)} + \frac{(P95 + P5 - 2P50)}{2(P95 - P5)}$ | $\sigma_i = \frac{(P84 - P16)}{4} + \frac{(P95 - P5)}{6,6}$ |
| | -1 < Sk < -0,30 Très asymétrique vers les grossiers | 0 < σ_i < 0,35 Très bien trié |
| | -0,30 < Sk < -0,10 Asymétrique vers les grossiers | 0,35 < σ_i < 0,50 Bien trié |
| | -0,10 < Sk < 0,10 Presque symétrique | 0,50 < σ_i < 0,70 Moyennement trié |
| | 0,10 < Sk < 0,30 Asymétrique vers les fins | 0,70 < σ_i < 1 Assez peu trié |
| | 0,30 < Sk < 1 Très asymétrique vers les fins | 1 < σ_i < 2 Peu trié |
| | | 2 < σ_i < 4 Très peu trié |
| | | 4 < σ_i Pas trié |

Fig.5.23 Grain moyen, indices de tri et indice d'asymétrie

Source : Folk & Ward, 1957

Pour les mesures de granulométrie, les échantillons (2 cm³) ont été séchés au préalable pendant 24h à 105°C. Les échantillons secs ont été mis en pommade par ajout de quelques gouttes d'hexamétaphosphate de sodium (Fig.5.24 a), afin de disperser les grains, notamment les argiles. Les échantillons ainsi préparés ont été mesurés au granulomètre laser Horiba 950 (Fig.5.24 b). 755 échantillons ont été analysés.



a. L'ajout de l'hexamétaphosphate de sodium



b. Granulomètre laser Horiba 950

Fig.5.24 Préparation des échantillons et mesure de la granulométrie

Pour chaque échantillon, plusieurs prélèvements ont été passés au granulomètre et pour chaque prélèvement, plusieurs mesures ont été réalisées. Les résultats de l'analyse granulométrique (proportion volumique de chaque gamme granulométrique) ont été moyennés pour chaque échantillon, puis traités à l'aide de la fiche de calcul GRADISTAT (Blott & Pye, 2001).

Les textures obtenues ont servi à vérifier/corriger les logs préliminaires et différents indices ont été retenus pour l'interprétation des résultats : les diamètres $D_{0,5}$ et $D_{0,99}$; le type granulométrique (modifié d'après Udden, 1914 et Wentworth, 1922) et l'indice de tri calculé selon la méthode géométrique des moments (Krumbein & Pettijohn, 1938).

5.4.2 L'image CM

La granulométrie des sédiments est une mesure très courante dans l'identification des paléo-milieus fluviaux. Elle vient confirmer ou compléter les observations qualitatives réalisées à l'oeil nu (définition de la structure sédimentaire et estimation de la texture), en quantifiant la distribution des particules selon leur taille. Cela se révèle très utile pour renseigner le mode de transport et les milieux de dépôts *via* la méthode de l'image CM. Cette méthode mise au point par Passega (1957, 1964) se base sur deux paramètres statistiques clés : la taille moyenne des grains de l'échantillon (M), qui traduit la compétence moyenne du cours d'eau, et son percentile le plus grossier (C), qui témoigne de la compétence maximale. Le premier est reporté en abscisse sur un graphique à double échelle logarithmique et le second en ordonnée. Le point qui en résulte est ensuite comparé à un modèle (image CM - Fig.5.25) qui détermine le mode de transport correspondant.

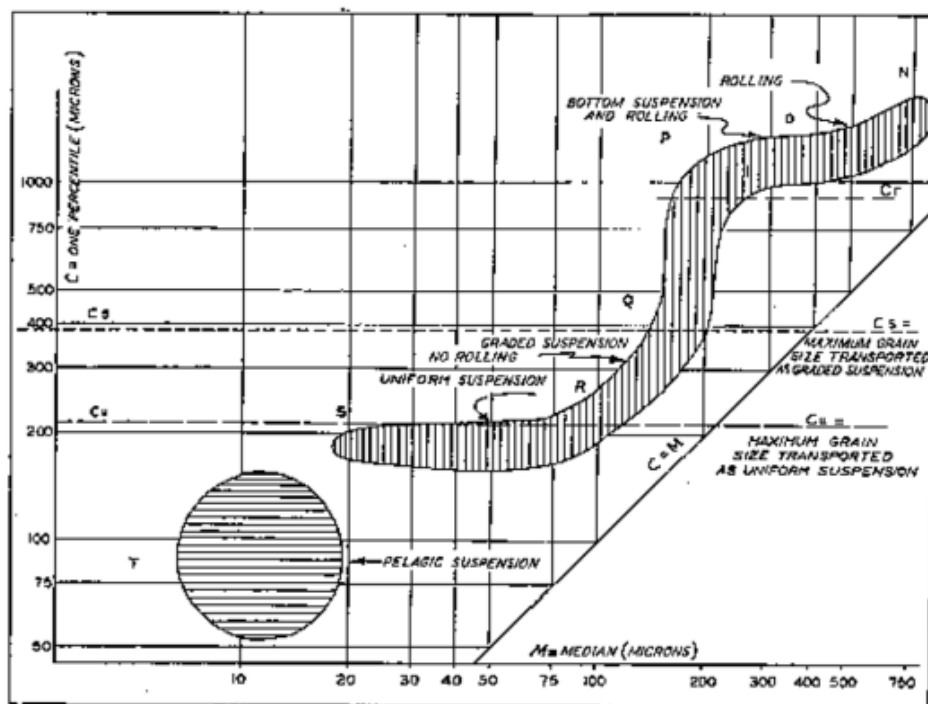


Fig.5.25 L'image CM
Source : Passega, 1964

L'image CM théorique établie par R. Passega pour le Mississippi distingue cinq modes de transport associés chacun à un segment de l'image (Fig.5.19) : 1) roulage - segment NO ; 2) roulage majoritaire et suspension graduée - segment OP ; 3) suspension graduée majoritaire et roulage - segment PQ ; 4) suspension graduée - segment QR; 5) suspension uniforme - segment RS. Le segment QR est généralement délimité par deux valeurs seuils correspondant à la taille maximale des particules transportées par suspension uniforme (Cu) et par suspension graduée (Cs) lors de la turbulence maximale de la masse d'eau en surface (Cu) et en son fond (Cs). Une dernière zone, nommée T, correspond aux sédiments déposés par décantation (ou suspension pélagique). Diverses études ont démontré que l'image CM permettait aussi de distinguer les différents milieux de sédimentation de la plaine alluviale mais qu'il était nécessaire d'établir, au préalable, un modèle de fonctionnement propre à l'environnement fluvial étudié (Bravard, 1983 ; Bravard et al., 1986 ; Peiry, 1988 ; Salvador, 1991 ; Arnaud-Fassetta, 1998 ; Bravard & Peiry, 1999 ; Houbrechts et al., 2013). En effet, chaque espace fluvial a des caractéristiques dynamiques qui, tout en lui étant propres, entraînent des variations granulométriques des unités sédimentaires. Il n'existe pas d'image CM universelle.

5.5 La perte au feu

La teneur en matière organique du remblaiement alluvial est aussi riche en informations. La matière organique se développe dans les milieux calmes. Un sédiment très organique sera donc révélateur d'un calme hydrologique et/ou d'une déconnexion du chenal (Salvador et al., 2009). 755 échantillons (2cm^3) ont fait l'objet d'une quantification par calcination (ou perte au feu) (Fig.5.26).



a. Four à moufle GEODE



b. Four à moufle EcoLab ENSAT

Fig.5.26 Perte au feu

Les teneurs en carbone ont été mesurées par perte au feu en suivant le protocole proposé par Dean (1974) et modifié par Heiri et al. (2001). Les échantillons ont été pesés, puis séchés 24 h à l'étuve (105°) puis pesés une nouvelle fois. La valeur obtenue permet d'estimer la teneur en eau. Les échantillons ont ensuite été chauffés pendant 4 h à 550° au four à moufle et pesés une nouvelle fois après refroidissement. La valeur obtenue permet d'estimer la teneur

en carbone organique. Les mêmes échantillons ont enfin été chauffés à 950° pendant 2 h et pesés une dernière fois après refroidissement. La valeur obtenue permet d'établir la teneur en carbonate.

Les analyses de perte au feu ont commencé au laboratoire GEODE (Fig.5.26 a) et, suite à la panne du four à moufle, ont continué dans l'étuve et le four à moufle du laboratoire EcoLab (Fig.5.26 b), plateforme ENSAT. Même si les étuves et les fours à moufle des deux laboratoires étaient légèrement différents, le même protocole a été utilisé.

5.6 Les datations

33 échantillons en provenance de 7 carottes tubées ont fait l'objet de datations. L'intégralité des datations radiocarbone ont été réalisées au laboratoire de Poznan (Pologne).

| | Carotte | Echantillon | Matériel |
|----|----------------|---------------------|--------------------|
| 1 | ParCan | ParCan (-1,33) | Sédiment organique |
| 2 | ParCan | ParCan (-3,60) | Sédiment organique |
| 3 | ParCan | ParCan (-5,60) | Sédiment organique |
| 4 | ParCan | ParCan (-8,75) | Sédiment organique |
| 5 | ParCan | ParCan (-9,66) | Sédiment organique |
| 6 | ParLac02 | ParLac (-1,40) | Sédiment organique |
| 7 | ParLac02 | ParLac (-2,51) | Sédiment organique |
| 8 | ParLac02 | ParLac (-4,67) | Sédiment organique |
| 9 | ParLac02 | ParLac (-6,85) | Sédiment organique |
| 10 | Tara14 | Log14 (-2,09-2,10) | Sédiment organique |
| 11 | Tara14 | Log 14 (-2,48-2,49) | Sédiment organique |
| 12 | Tara14 | Tara14 (-2,61-2,62) | Sédiment organique |
| 13 | Tara14 | Tara14 (-3,41-3,42) | Sédiment organique |
| 14 | Tara14 | Log 14 (-3,73) | Sédiment organique |
| 15 | Tara14 | Log 14 (-4,87) | Sédiment organique |
| 16 | Tara24 | Log 24 (-1,80-1,81) | Charbon |
| 17 | Tara24 | Log 24 (-2,33-2,34) | Sédiment organique |
| 18 | Tara24 | Log 24 (-3,20-3,21) | Sédiment organique |
| 19 | Tara24 | Log 24 (-3,46-3,47) | Sédiment organique |
| 20 | Caz01 | Caz01 (-2,23-2,24) | Sédiment organique |
| 21 | Caz01 | Caz01 (-3,20-3,21) | Sédiment organique |
| 22 | Caz01 | Caz01 (-3,65) | Charbon |
| 23 | Caz01 | Caz01 (-4,64) | Sédiment organique |
| 24 | Caz01 | Caz01 (-5,84) | Sédiment organique |
| 25 | Caz01 | Caz01 (-6,37-6,38) | Sédiment organique |
| 26 | Caz02 | Caz02 (-1,50-1,51) | Sédiment organique |
| 27 | Caz02 | Caz02 (-4,50-4,52) | Restes végétaux |
| 28 | Caz02 | Caz02 (-5,52) | Bois |
| 29 | Caz02 | Caz02 (-6,91) | Charbon |
| 30 | Caz02 | Caz02 (-7,84) | Sédiment organique |
| 31 | Caz02 | Caz02 (-8,63-8,64) | Bois |
| 32 | Mila | Mila (-5,49-5,50) | Sédiment organique |
| 33 | Mila | Mila (-7,06-7,07) | Bois |

Tableau 5.2 Echantillons datés

En l'absence de végétaux, bois ou charbon, la matière organique diffuse est apparue comme la seule alternative possible pour dater les séquences jugées importantes. La majorité des datations ont été effectués sur du sédiment organique, seulement 7 échantillons étant d'une autre nature (3 charbons, 3 bois, 1 reste végétal).

5.7 Palynologie

La carotte Tara14 a bénéficié d'analyses palynologiques (Mihaela Danu, Université de Iasi, Roumanie). L'étude du pollen et des micro-fossiles non-polliniques de cette carotte nous permet principalement de décrire l'évolution du paysage, de l'Âge du bronze au Moyen Âge, et d'apporter de nouvelles données sur la connaissance des paléoenvironnements. Peu d'informations sont disponibles pour la fin de la période chalcolithique, c'est pourquoi ces données sont d'autant plus importantes. En revanche, nous ne disposons d'aucun enregistrement pollinique pour la période de transition entre le Chalcolithique et l'Âge du bronze.

Les échantillons ont été collectés avec un pas d'échantillonnage de 5 cm lorsque cela était possible. Pour chaque échantillon, un micro-prélèvement de 2 grammes a été soumis au protocole d'extraction des spores et des grains de pollen correspondant aux méthodes définies par Faegri & Iversen (1989), adaptées par A. Mazuy (Assistant Ingénieur-chimiste au laboratoire CEPAM). Chaque échantillon de sédiment a fait l'objet d'attaques chimiques acido-basiques (acide chlorhydrique 50%, acide fluorhydrique 70%, hydroxyde de potassium 10%) afin d'éliminer l'ensemble de la matrice sédimentaire minérale et organique. Par la suite, les échantillons ont fait l'objet d'une lévigation en liqueur dense, adaptée à l'analyse pollinique des sédiments d'origine minérale, comme les sédiments archéologiques ou marins. Les préparations ont été montées entre lame et lamelle puis observées au moyen d'un microscope "Zeiss standard TM" (X650, X1000). Pour la lecture des lames palynologiques « positives », la détermination des spores et des grains de pollen a été effectuée à l'aide des ouvrages et atlas de référence (Reille, 1992 ; Beug, 2004), ainsi que de la collection de référence palynologique de l'Université de Iasi et des laboratoires GEODE (Toulouse) et CEPAM (Nice).

Le diagramme palynologique a été réalisé à l'aide du logiciel Tilia. Une analyse CONISS a été employée pour identifier les différentes zones polliniques.

Conclusion du chapitre 5

Les formes et les sédiments de la plaine deltaïque ont été étudiées avec les méthodes classiques de la géomorphologie, combinant à la fois des travaux de terrain et des travaux en laboratoire. Au cours de la thèse, trois missions de terrain ont été réalisées pour le prélèvement des 11 carottes sédimentaires sur trois régions : Pardina, Fortuna-Sontea et Mila23.

Cette démarche de terrain s'appuie sur trois étapes. Dans un premier temps une observation systématique des formes visibles sur les images ortho-photos à l'échelle de notre terrain d'étude a été réalisée, pour faire le choix des sites à carotter. Dans un deuxième temps, lors des campagnes de carottages les colonnes sédimentaires ont été extraites, avec description, photographie et prélèvement des échantillons sur place pour les carottes réalisées avec la gouge ouverte. Enfin les carottes prélevées avec la gouge fermée ont été ouvertes et photographiées au laboratoire et ont fait l'objet d'une description et de mesures de susceptibilité magnétique et de spectrocromimétrie ainsi que d'un échantillonnage systématique.

L'intégralité des échantillons prélevés ont fait ensuite l'objet d'analyses de perte au feu et de granulométrie. Les carottes tubées ont fait l'objet des datations, une carotte des analyses palynologiques, et les coquillages trouvés ont été identifiés. Chaque analyse a ses propres limites qu'il est parfois difficile de compenser et par conséquent certains résultats doivent être considérés avec précaution.

Chapitre 6

Les archives textuelles et iconographiques et l'approche géohistorique

Pour répondre à la deuxième question de notre problématique « Quelles sont la périodisation et les conséquences de l'anthropisation du delta sur les paysages ? » nous avons utilisé une approche géo-historique, par l'utilisation des archives iconographiques et textuelles, très utiles pour retracer l'évolution environnementale et paysagère d'un delta au cours des siècles. Une étude comparative et diachronique de ces divers documents, des cartes topographiques plus récentes, ainsi que des ortho-photos actuelles, permet de reconstituer l'évolution du delta et les étapes de son aménagement. Elles viennent idéalement compléter, parfois confirmer, ce qu'apportent les analyses sédimentaires.

6.1 Acquisition des données d'archives : des sources variées

Un important nombre des sources archivistiques ont été consultées qui peuvent être groupées en trois grandes catégories :

a. sources géoréférencées : les cartes, potentiellement exploitables sous SIG, qui couvrent une période de temps d'environ trois siècles depuis le XVIIIème siècle ; mais c'est seulement à partir de la seconde moitié du XIXème siècle que les représentations cartographiques deviennent progressivement plus précises, notamment au niveau de la qualité des levés ; elles ont été rassemblées dans une base de données cartographiques.

b. sources géolocalisables : les photographies (anciennes et actuelles), qui ont pu être recensées et collectées pendant les recherches ou tirées par nous-mêmes sur le terrain. Bien que les photographies nous aident à illustrer l'histoire des aménagements, des pratiques des habitants et l'évolution des paysages, il est parfois difficile de les localiser précisément dans l'espace et dans le temps.

c. sources écrites : au-delà des articles scientifiques et ouvrages récents ou plus anciens, il s'agit de documents inédits trouvés aux archives.

Toutes ces sources variées que nous avons pu consulter et collecter viennent de différentes institutions : instituts de recherche, archives nationales roumaines, les gestionnaires du delta du Danube ainsi que de nombreuses sources en ligne.

6.1.1 Les structures et instituts de recherche

L'Institut National de Recherche et Développement « Delta du Danube » (INCDDD). Créé en 1970 à Tulcea, il avait pour objectif le développement des activités liées à l'exploitation du roseau et à la production piscicole. L'INCDDD a été, à partir de 1991, le partenaire de la RBDD dans la majorité des projets de reconstruction écologique et de réhabilitation du système hydrologique. La bibliothèque et les archives de l'institut de recherche contiennent des projets d'aménagement de certaines fermes piscicoles dans la période 1970-1990, mais aussi les projets de renaturation et de réhabilitation du système hydrologique réalisées dans la période post-communiste. L'institut possède aussi une base de données cartographique avec des cartes anciennes et topographiques.

L'Institut de Recherches Éco-Muséales « Gavrița Simion » (ICEM). Il s'agit du partenaire du laboratoire GEODE dans les programmes de recherche sur le delta du Danube. Fondé en 1950 à Tulcea comme musée de sciences naturelles, il devient en 1965 le Musée « Delta du Danube » avec quatre sections : histoire et archéologie, ethnographie, science naturelles et art. Suite à une réorganisation en 1993 il prend le nom d'ICEM et il fonctionne sous la tutelle du Conseil Départemental de Tulcea. La bibliothèque de l'institut avec plus de 87 000 volumes, en bonne partie centrés sur l'histoire de la région de Dobrogea, mais aussi sur d'autres sujets variés comme la géographie, l'ethnographie, la zoologie, la botanique, ou la pisciculture, a été une bonne source d'informations. Ses collections de cartes anciennes et de cartes topographiques, ainsi que de cartes postales anciennes, ont été utilisées pour enrichir notre base de données. Depuis 1971 la revue PEUCE est éditée annuellement par l'ICEM et comprend des articles scientifiques couvrant principalement les recherches du nord de Dobrogea, delta du Danube comprise, ainsi que d'importantes contributions à l'archéologie roumaine et européenne.

L'Institut national de recherche et de développement en géologie et géoécologie marines (GeoEcoMar). Fondé en 1993 à Bucarest, il effectue des recherches en géologie, géophysique et géoécologie, en particulier dans les milieux aquatiques, marins, deltaïques et fluviaux. GeoEcoMar est une source d'articles scientifiques notamment *via* la revue Geo-Eco-Marina avec une publication annuelle à partir de 1996. Il conserve également des cartes du delta du Danube.

L'Institut de Géographie de l'Académie Roumaine (IGAR). Situé à Bucarest et créé en 1944, il est la principale institution de recherche géographique fondamentale et appliquée en Roumanie. L'institut s'inscrit dans la structure de l'Académie roumaine et a été le lieu de l'élaboration de la carte du delta du Danube publiée en 1983 sous la direction du Petre Găstescu. La bibliothèque de l'institut, mais surtout la bibliothèque de l'Académie Roumaine ont été des sources utilisées pour compléter la base de données cartographiques sur le delta.

Le Musée National d'Histoire de Roumanie (MNIR). Créé en 1970 à Bucarest comme le plus important musée d'archéologie et histoire de Roumanie, il s'est ouvert à la recherche après 1990, notamment par la création du département d'analyses physico-

chimiques et biologiques qui est un autre partenaire du laboratoire GEODE dans le delta du Danube. La collection cartographique du MNIR a servi également à l'enrichissement de notre base de données sur le Danube.

6.1.2 Les Archives Nationales roumaines

Deux sièges des Archives Nationales ont été consultés, à Tulcea (ANT) et à Galati (ANG). A Galati sont localisées les archives de la Commission Européenne du Danube (1856-1949), tandis qu'à Tulcea sont conservées les archives de la Centrale Delta du Danube (CDD) (informations disponibles de 1954 à 1972) et de l'Entreprise Piscicole Tulcea (IPT) (informations disponibles de 1950 à 1973). Les documents conservés aux Archives Nationales sont groupés en différents fonds (fond CDD ; fond IPT), chaque fonds étant constitué de plusieurs unités d'archives, contenant elles-mêmes des dossiers. Un dossier peut contenir de 15 à 550 pages.

Une période de temps de 30 ans doit encore s'écouler avant que les archives ne soient communicables au public. Avant cette période, l'information est considérée comme confidentielle. Il nous a donc été impossible de consulter les informations postérieures à 1983.

L'accès aux documents a d'ailleurs été assez difficile, les archives n'étant pas ouvertes au public tous les jours et parfois même pas des journées entières. Par exemple à Tulcea l'accès au public se résume à trois demi-journées par semaine, lundi, mardi, mercredi, de 8h30 à 14h30. Pour visualiser les documents, il convient de déposer une demande la veille de la consultation pour un maximum de 15 unités d'archive (dossiers). Comme j'ai été la première personne à étudier le fonds Centrale « Delta du Danube » depuis son entrée aux Archives Nationales à Tulcea, tous les dossiers que j'ai demandés ont été d'abord analysés par le personnel des Archives, avant que l'on ne m'accorde le droit de les consulter. L'accès à un dossier peut être refusé si celui-ci ne se trouve pas dans un bon état de conservation. Il peut être refusé totalement ou partiellement si le personnel des archives décide qu'il contient des informations sensibles, voire secrètes.

La récupération des informations à partir des dossiers mises à disposition est gratuite si elle se résume à la prise de notes. Il est possible de demander des copies payantes de certaines pages, après approbation d'une demande motivée. Il est possible de réaliser des photographies moyennant rétribution, là aussi après approbation d'une demande (précisant le dossier concerné, les pages et la date de prise des clichés). C'est l'option que j'ai retenue, étant la plus rapide pour récupérer une quantité plus importante d'informations dans un temps limité. Toutefois sans pouvoir utiliser un trépied et sachant que l'utilisation d'un flash est interdite, il a été très difficile d'obtenir un document plan dans le cas des cartes pliées. Un employé des archives est présent en permanence dans la salle lors des consultations et des prises de vue. Les limites énoncées ici ont eu des répercussions sur la quantité et la qualité des informations récupérées auprès des Archives Nationales.

Le but de la création de la Centrale « Delta du Danube » (CDD) était l'exploitation des ressources naturelles du delta du Danube. Parmi les activités du CDD figurent l'exploitation du roseau pour fabriquer de la pâte à papier, la production de poisson et l'industrialisation de la transformation du poisson, l'agriculture et la foresterie. Pour développer cette activité dans le cadre du CDD, un Institut de Recherche et Projets a été fondé à Tulcea en 1970, c'est-à-dire l'année de la création de la CDD.

La CDD a coordonné les différentes activités des entreprises comme l'exploitation du roseau (Trust d'Aménagement et de Valorisation du Roseau « Trustul de aménajare si exploatare a stufului –TAVS », organisé en trois unités de fonctionnement : Rusca, Padina, Sulina), la pêche (Entreprise de Pêche et de Pisciculture« Intreprinderea de Pescuit si Piscicultura – IPP » organisée en trois unités de production de la pêche à Tulcea, Sulina et Jurilovca / Entreprise Piscicole), l'agriculture (Entreprise Agricole d'Etat « Intreprinderea Agricola de Stat – IAS » à Chilia Veche) ; la foresterie et l'exploitation forestière (Direction Sylvicole de Tulcea / Entreprise pour la Construction et la Réparation des navires et de l'équipement, de Tulcea qui a réalisé de l'équipement pour l'exploitation du roseau et du poisson), l'Institut de Recherche et de Projets pour le delta du Danube à Tulcea, avec la ferme Sarinasuf pour les recherches de terrain, la production du poisson et la station pour recherches expérimentales sur le roseau à Maliuc).

Les documents trouvés dans le Fonds CDD (341 unités d'archives) datent des années 1954-1980 et incluent des informations sur les aménagements piscicoles et l'exploitation du roseau dans le delta du Danube, la réalisation de plans d'investissement et de production, l'électrification des différentes zones du delta, ainsi que des données sur la production de poisson, et différents indicateurs financiers.

L'IPT (Entreprise Piscicole de Tulcea) fonctionne depuis 1950. Son siège est implanté à Murighiol. Les documents trouvés dans le Fonds IPT (soit 456 unités d'archives) sont variés ; ils datent des années 1950-1973. Le fonds inclut des informations sur les projets d'aménagements piscicoles, les plans d'investissements et de production, les expérimentations et des données relatives à la production de poisson.

6.1.3 Les Gestionnaires

Le Conseil Départemental de Tulcea (CJT) - Après la suppression du CDD en 1991, le CJT a assumé l'administration de la totalité des aménagements piscicoles et agricoles du delta du Danube. L'accès aux archives du Conseil départemental n'a pas été possible, mais suite à des entretiens que j'ai eus avec des fonctionnaires du CJT j'ai pu récupérer une série de documents (plans des aménagements, localisation des concessions, photographies) concernant l'état actuel des aménagements dans le delta, exploités dans le cadre de ce travail.

L'Administration de la Réserve de la Biosphère Delta du Danube (ARBDD) – Elle a été créée en 1991 et c'est le gestionnaire des espaces « naturels » du delta du Danube, c'est-à-dire du territoire qui ne fait pas partie des aménagements agricoles, piscicoles ou forestiers.

Dans la bibliothèque de l'institution on peut trouver des informations concernant la gestion des espaces protégés (localisation surfaces, faune, flore, habitants, activités traditionnelles), ainsi que les projets de renaturation.

Silvodelta & Romsilva - Jusqu'en 1948, les forêts ont été administrées par la "Maison Autochtone des Forêts de l'État". Par nationalisation, toutes les forêts sont devenues propriétés de l'État en 1948 et sont passées sous l'administration du nouveau Ministère de la Sylviculture. Durant la période 1970-1991, l'administration du fond forestier a été assurée par la Centrale Delta du Danube (CDD). Après la disparition du CDD en 1991, le fond forestier a été géré par une société créée dans ce but, Silvodelta. En 2002, le fond forestier est passé sous la gestion de Romsilva (Regia Nationala a Padurilor – Office National des Forêts), organisme qui continue à l'administrer actuellement. L'analyse des différents rapports rédigés sur la forêt dans le delta du Danube et l'étude des cartes sylvicoles m'ont aidé à comprendre la façon dont sont gérées aujourd'hui les forêts du delta, de cerner leurs différentes catégories et de retracer un historique des aménagements et de l'introduction des espèces par plantation.

6.1.4 Sources et fonds numériques

La Bibliothèque Nationale de France (www.gallica.bnf.fr) trouve son origine dans la bibliothèque royale fondée au Palais du Louvre par Charles V en 1368. La BnF contient environ 14 millions de livres ainsi que des documents imprimés, manuscrits, gravures, photographies, cartes et plans, etc. Gallica, la bibliothèque numérique pour les utilisateurs en ligne, créée en 1997, contient plus de 9 millions d'articles.

La Bibliothèque Numérique de Bucarest (www.digibuc.ro) est constituée de collections numériques créées par la numérisation de certains documents des collections spéciales de la Bibliothèque Nationale de Roumanie. Parmi les collections de la bibliothèque on retrouve des manuscrits, des livres anciens et rares, des cartes...

Library of Congress (www.loc.gov) - Créée officiellement en 1800, suite à une proposition de James Madison en 1783, c'est la bibliothèque nationale des États-Unis. La Bibliothèque du Congrès est la plus grande bibliothèque du monde, avec des millions de livres, d'enregistrements, de photographies, de journaux, de cartes et de manuscrits dans ses collections.

British Library (www.bl.uk) - Créée en 1973 (car faisait partie auparavant du British Museum) c'est la bibliothèque nationale du Royaume-Uni, une des plus grandes bibliothèques nationales du monde par le nombre de documents catalogués. On estime qu'elle contient entre 150 et 200 millions d'articles. La Bibliothèque Britannique est une importante source pour la recherche, avec des documents dans de nombreuses langues et dans de nombreux formats, imprimés et numériques : livres, manuscrits, revues, journaux, enregistrements sonores et musicaux, vidéos, brevets, bases de données, cartes, timbres, imprimés, dessins.

Austrian National Library (www.onb.ac.at) - C'est la plus grande bibliothèque d'Autriche, avec plus de 12 millions de documents dans ses différentes collections.

L'institution trouve son origine dans la bibliothèque impériale du Moyen Âge. Parmi les collections de la bibliothèque on retrouve : manuscrits et livres rares, collection de cartes et des globes, collection de papyrus, gravures anciennes.

Yale University Library est la bibliothèque de l'Université de Yale (New Haven, Connecticut, États-Unis) datant de 1701. The Beinecke Rare Book & Manuscript Library (www.beinecke.library.yale.edu) est l'une des plus grandes bibliothèques du monde entièrement consacrée aux livres et manuscrits rares et est le principal dépôt de Yale pour les archives littéraires, les manuscrits anciens et les livres rares.

Boston Public Library (www.bpl.org) est un réseau de bibliothèques publiques municipales de Boston, Massachusetts, États-Unis, fondé en 1848. La bibliothèque contient environ 19 millions de volumes et ressources électroniques, ce qui en fait la deuxième bibliothèque publique en importance aux États-Unis derrière la Library of Congress.

Basel University Library (www.ub.unibas.ch), est la bibliothèque centrale de l'Université de Basel, avec plus de 3 millions de documents dans ses collections, la bibliothèque est l'une des plus importantes de Suisse.

National Library of Bulgaria (www.nationallibrary.bg), fondée en 1878 est la bibliothèque nationale de Bulgarie. Parmi les collections de la bibliothèque on retrouve : collection de vieux livres, collection de cartes (avec plus de 9 850 atlas, cartes et globes), collection de manuscrits slaves et en langues étrangères.

Library of Parliament, Hongrie (hungaricana.hu) est un site web commun aux archives, musées et bibliothèques hongrois, géré par la Bibliothèque du Parlement, qui contient des livres, des cartes et plans, et d'autres documents d'archive.

Leiden University Library (www.library.universiteitleiden.nl) est une bibliothèque fondée en 1575 à Leiden, Pays-Bas, qui a une collection unique de sources exceptionnelles avec environ 5 200 000 volumes, 1 000 000 livres électroniques, 70 000 revues électroniques, 2 000 revues papier actuelles, 60 000 manuscrits orientaux et occidentaux, 500 000 lettres, 100 000 cartes, 100 000 imprimés, 12 000 dessins et 300 000 photographies.

Stanford University Library (États-Unis) comprend plus de 20 bibliothèques au total parmi lesquelles *David Rumsey Map Center* (www.davidrumsey.com) qui conserve plus de 150 000 cartes.

McMaster University Library (www.library.mcmaster.ca), créé en 1887, est le réseau de bibliothèques universitaires des facultés de l'Université McMaster (Canada). Les collections spécialisées comprennent entre autres des archives et des livres rares, des cartes et des atlas.

University of Texas Libraries (www.lib.utexas.edu) - Depuis plus de 125 ans, les bibliothèques de l'Université du Texas (États-Unis) se sont engagées à bâtir l'une des plus grandes collections de bibliothèques au monde, avec plus de 10 millions de volumes et accès aux bases de données et ressources en ligne variés.

D'autres sources en ligne ont alimenté notre base de données cartographique : Biblioteca Marciana de Venise (Italie), Hereford Library (Angleterre), Topkapi Palace Library (Turquie), Walters Art Museum (États-Unis), Atwood House Museum (États-Unis), ainsi que les sites raremaps.com, zvab.com, drevlit.ru, mapandmaps.com, mapywig.org, wildernis.eu, geo-spatial.org.

Sur ce registre, on doit souligner le travail remarquable de Virgil Coman (1973-2016), ancien directeur des Archives Nationales de Constanta, qui, à l'aide du Consulat de la République Turque à Constanta, l'Union Démocratique Turque en Roumanie et de l'Association des hommes des affaires turques de Dobrogea, a publié récemment un atlas des cartes turques (Coman &Yenikale, 2015) allant du XVIème au XIXème siècle. Les turcs ont marqué la région du Dobrogea pendant une longue période, du début du XVème siècle jusqu'au XIXème siècle, période pendant laquelle ils ont administré une bonne partie du territoire du delta. L'accès aux données écrites de cette époque a été très difficile, pour une part à cause de leur localisation dans la plupart des cas dans des bibliothèques et archives en Turquie, et d'autre part à cause de la barrière linguistique constituant pour nous la langue turque.

6.2 L'analyse qualitative des cartes

Une base de données cartographiques delta du Danube (Fig.6.1) a été créée et les cartes en provenance des diverses sources ont été classées en trois catégories : de petite échelle (1 : 1 000 000 à 1 : 400 000), couvrant un grand territoire comme l'Europe, les Balkans ou la Roumanie ; d'échelle moyenne (1 : 400 000 à 100 000), couvrant le territoire de la province Dobrogea, le département de Tulcea et l'intégralité du delta du Danube ; de grande échelle (1 : 75 000 à 1 :25 000), représentant des parties du delta du Danube, son territoire étant couvert par plusieurs feuilles.

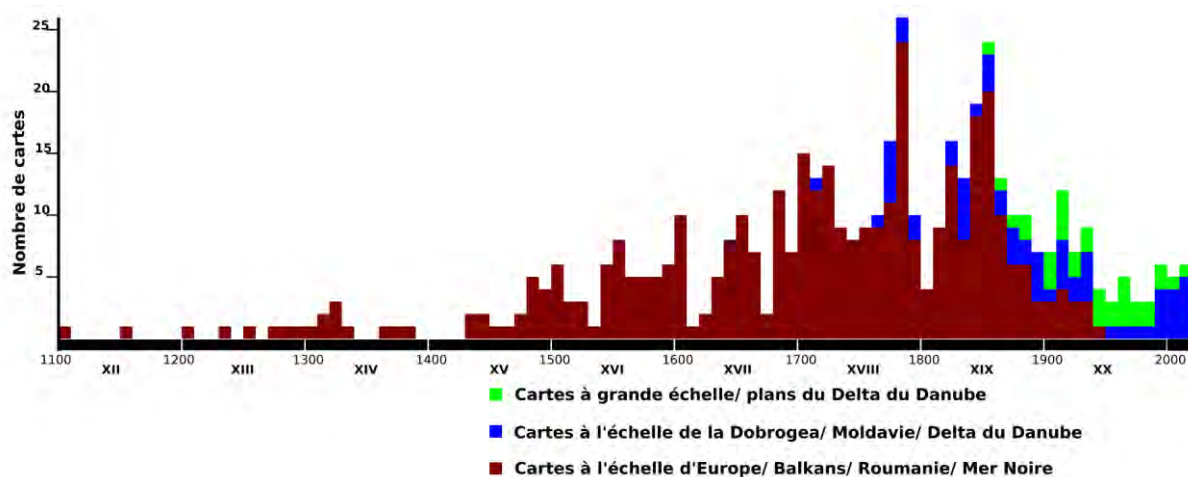


Fig.6.1 Base de données cartographique delta du Danube

Les cartes classées dans les catégories de petite et moyenne échelle ont fait l'objet d'une analyse qualitative, tandis que dans la catégorie des cartes à grande échelle ont été classés les documents susceptibles d'intégrer un SIG.

De nombreux auteurs ont étudié l'ajustement morphologique des systèmes fluviaux à l'aide de données historiques, notamment des cartes, des photographies aériennes ou de la télédétection (Patrick et al., 1982 ; Hickin & Nanson, 1984 ; Lewin, 1987 ; Petts et al., 1989 ; Erskine, 1992 ; Marston et al., 1995 ; Gurnell, 1997 ; Winterbottom, 2000 ; Bravard, 2002 ; Uribe Larrea et al., 2003 ; Wellmeyer et al., 2005 ; Salvador et al., 2009 ; Nicoll & Hickin, 2010 ; Zawiejska & Wyzga, 2010 ; Arnaud-Fassetta, 2011 ; Ziliani & Surian, 2012 ; Segura-Beltrán & Sanchis-Ibor, 2013 ; Toone et al., 2014 ; Clerici et al., 2015 ; Scorpio et al., 2015, etc).

Les cartes sont liées à l'objectif initial du cartographe. Une carte marine s'intéresse aux traits des côtes pour permettre la navigation des bateaux et ne va pas s'intéresser à l'intérieur des continents. Une carte pour la navigation fluviale va se concentrer plutôt sur les réseaux navigables et moins sur le réseau secondaire, plus sur les villes-ports et moins sur le reste du territoire. Une carte des routes sur un territoire répertorie les principales voies d'accès en cartographiant villes et villages. Finalement, chaque document cartographique répertorié, classé, peut faire l'objet, en fonction de sa précision, soit d'une analyse qualitative, soit d'une analyse quantitative.

La qualité des documents cartographiques a évolué avec le temps (Fig.6.1). Les cartes récentes sont géométriquement plus fiables que les cartes de l'époque moderne ou les cartes du Moyen Âge. Mais ces dernières, malgré leurs imprécisions, apportent des éléments de connaissance sur les territoires étudiés et ne doivent donc pas être écartées. Suivant les périodes historiques ces cartes sont en nombre varié et de qualités diverses. En fonction de l'époque et de la destination de la carte, on ne représente pas le territoire de la même manière.

Au-delà de leur nombre, la qualité des cartes est différente selon les périodes, de sorte qu'une analyse qualitative est nécessaire pour les cartes produites jusqu'au début du XXème siècle. Les échelles de ces différentes cartes ne sont pas homogènes puisque certaines cartes sont à une échelle nationale (Roumanie), voire européenne, et d'autres à une échelle plus locale (delta du Danube). Cette disparité peut constituer une source de confusion et d'erreurs dans l'analyse des documents, d'où l'intérêt de confronter les cartes de dates et des échelles voisines.

Les techniques cartographiques utilisées pour les cartes anciennes sont responsables d'imprécisions trop importantes et rendent ces documents impossibles à géoréférencer. Toutefois ces sources ont été beaucoup utilisées dans nos réflexions depuis l'Antiquité et jusqu'à l'Époque Moderne pour l'identification des évolutions du delta du Danube.

6.3 L'analyse quantitative des cartes – le SIG

A partir de la fin du XIX^{ème} siècle et surtout du début du XX^{ème} siècle, la précision cartographique, liée notamment à l'utilisation d'échelles plus précises (1 : 75 000, 1 : 50 000, 1 : 25 000) permet d'esquisser une approche quantitative sur le secteur via un système d'information géographique. Ce SIG initié en 2014 a été mis en place sous ArcGis version 10.2.

6.3.1. Géoréférencement

Sauf exception, les cartes à une échelle supérieure ou égale au 1 : 75 000 ont fait l'objet d'un géoréférencement afin de confronter spatialement des données de périodes différentes (Fig.6.2). Notre terrain d'étude est situé sur les quatre feuilles composant le delta à l'échelle 1 : 75 000 (CED 1874, 1887 ; Gastescu, 1983), sur onze feuilles de cartes topographiques parmi les 19 couvrant la totalité du delta du Danube à une échelle 1 : 50 000 (Antipa-Vidrascu 1911 ; DTM1950 et DTM 1970), et sur trente et une feuilles de cartes topographiques parmi les 74 à une échelle 1 : 25 000 (DTM 1960 ; DTM 1980 ; carte hydro-topographique 1962).

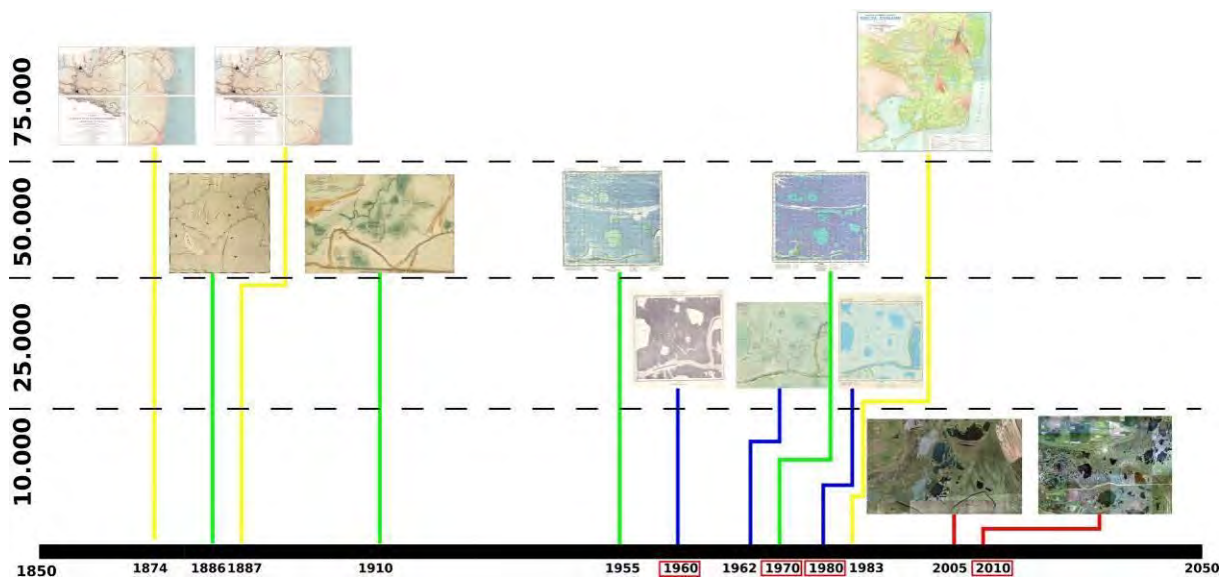


Fig.6.2 SIG Delta du Danube

La carte 1 : 50 000 du delta du Danube réalisée par l'Armée Roumaine en 1886, la carte CED 1887 à l'échelle d'environ 1 : 72 000, la carte 1 : 50 000 réalisée par Antipa-Vidrascu en 1911 et la carte Gastescu de 1983 à l'échelle 1 : 75 000, ont fait l'objet d'un géoréférencement (ArcGis 10.2) par points d'appui communs avec la carte topographique DTM 1960 1 : 25 000. Mais finalement elles ont été jugées trop imprécises et incomplètes pour être intégrés dans un SIG.

Lorsque le système de projection des cartes est connu et relativement récent (cartes topographiques publiées après 1950), le géoréférencement a été réalisé en utilisant les points géodésiques présents sur les cartes.

Trois sets de cartes topographiques situées dans le temps à un intervalle d'environ 10 ans, considérées complètes et précises, ont été choisis pour l'analyse diachronique : DTM1960 à l'échelle 1 : 25 000, DTM1970 à l'échelle 1 : 50 000 et DTM1980 à l'échelle 1 : 25 000. Suite au géoréférencement ils présentent une précision suffisante pour obtenir une erreur quadratique moyenne (RMSE) inférieure à 3 m.

Les images ortho-photos de 2010, à l'échelle 1 : 10 000 constituent le quatrième repère important de notre analyse. Ces documents ont servi à l'analyse quantitative de notre terrain d'étude.

6.3.2. Digitalisation des formes

Les trois cartes topographiques DTM1960, DTM1970 et DTM1980, ainsi que les ortho-photos 2010 ont fait l'objet d'une digitalisation sous SIG (ArcGis 10.2) en distinguant : les canaux (Fig6.3), les digues (Fig6.4) et les lacs (Fig6.5).

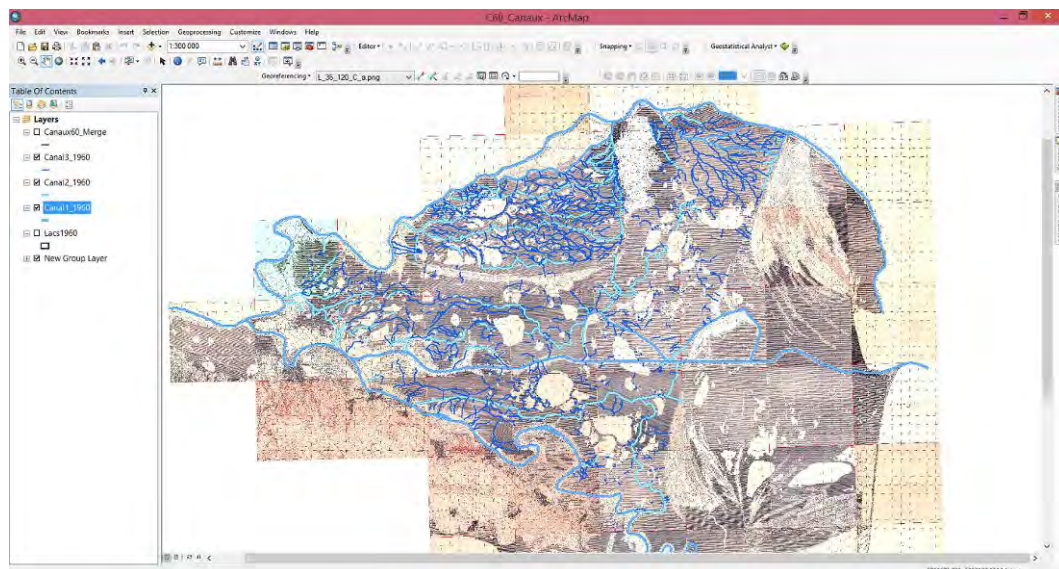


Fig.6.3 Digitalisation des canaux sur la carte DTM1960 sous ArcGis10.2

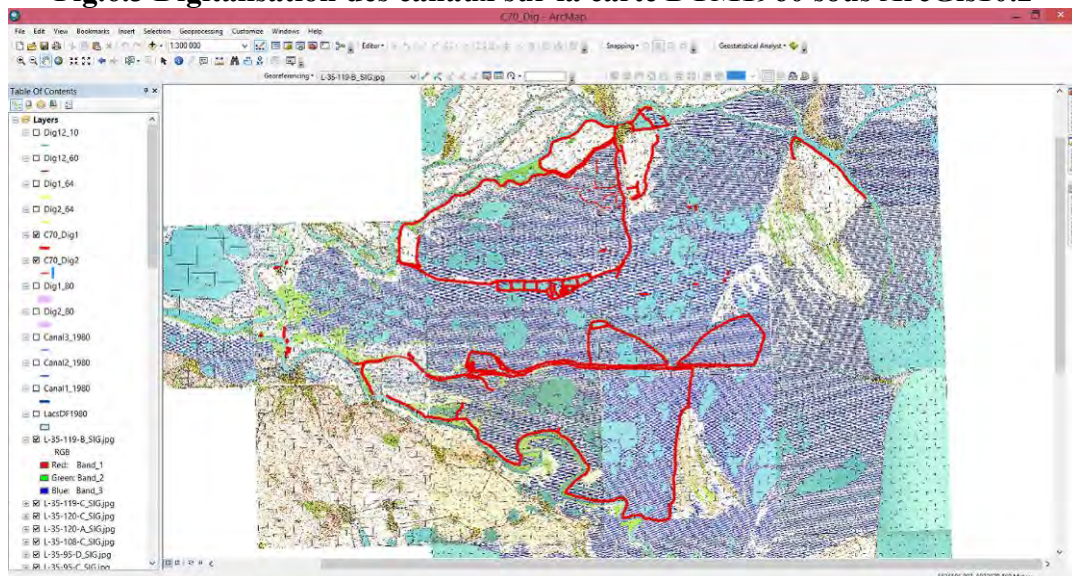


Fig.6.4 Digitalisation des digues sur la carte DTM1970 sous ArcGis10.2

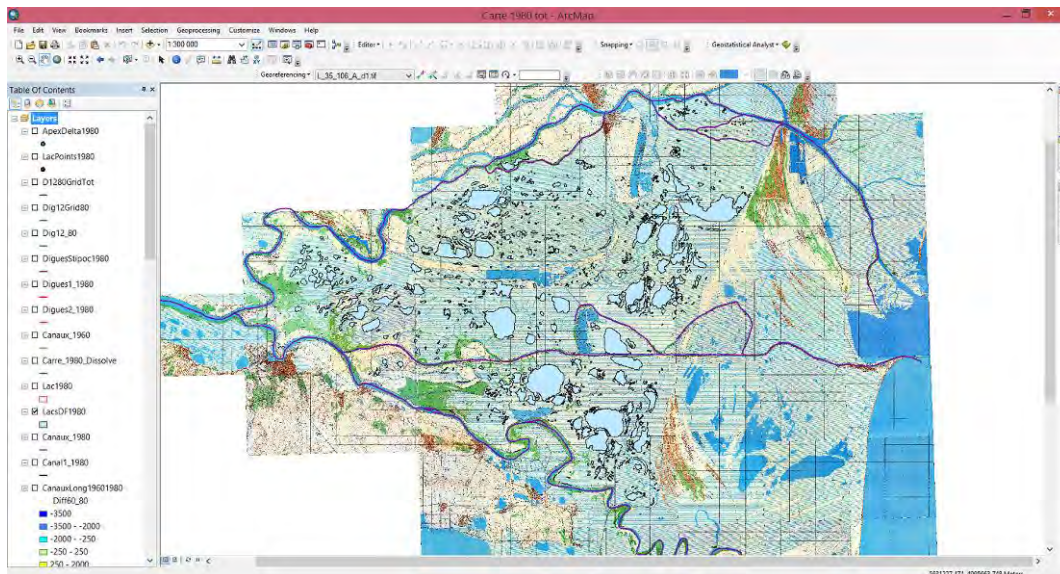


Fig.6.5 Digitalisation des lacs sur la carte DTM1980 sous ArcGis10.2

6.3.3. Création de la grille couvrant le terrain d'étude

Le choix de ces éléments repose sur leur représentativité concernant le fonctionnement hydro-sédimentaire du delta et sur leur simplicité, adaptée à une approche multi-sources. Des couches *shape* ont été dessinées pour faciliter le croisement des données spatiales

Pour mieux localiser et quantifier les changements, une grille a été créée à l'aide d'ArcGis 10.2 (Arctool Box/Outils de cartographie/Pages dynamiques/Entités de l'index de quadrillage) avec des carrés de 1 km². 1699 carrés couvrent notre terrain d'étude (Fig.6.6).

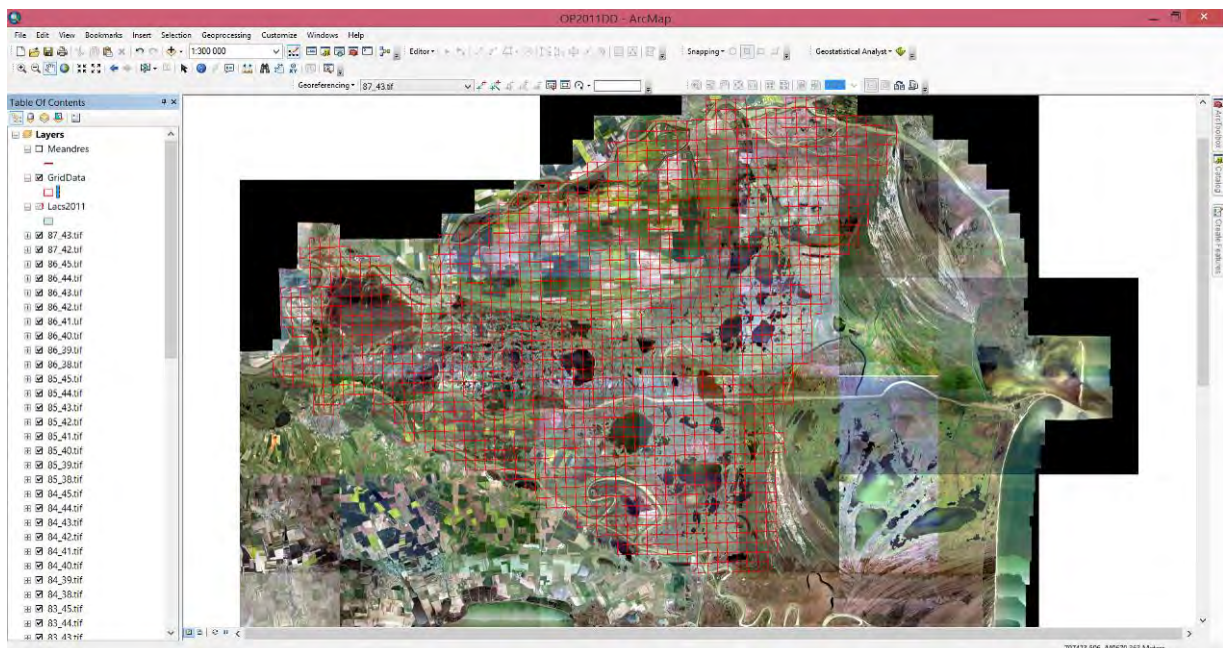


Fig.6.6 La création d'un grid 1 km²/1km² sous ArcGis 10.2 (Orto-Photo 2010)

Les formes appartenant à une des trois catégories analysées ont été fusionnées dans la même couche *shape* pour chaque date de référence et ensuite coupées selon la grille. La longueur totale, pour les canaux et les digues et la surface dans le cas des lacs, a été calculée pour chaque km² de notre grille. Pour voir l'évolution des éléments choisis, enregistrés à nos quatre dates de référence (1950, 1970, 1980 et 2010), nous avons calculé les différences de longueurs et des surfaces dans le cas des lacs, pour chaque carré de notre grille. Ainsi nous avons pu localiser et quantifier les changements.

6.4. Les limites de l'approche géohistorique

Il est certain que les cartes anciennes sont géométriquement moins précises que les cartes actuelles, et un recul critique est nécessaire pour les utiliser. La plupart des témoignages écrits et des réalisations cartographiques anciennes ne sont pas le résultat d'une observation directe. Souvent les informations ont été fournies par des intermédiaires, comme des marins, des soldats ou des commerçants qui ont voyagé sur le territoire en question (Constantinescu, 2015). Il faut toujours garder un esprit critique et surtout pour les informations plus anciennes, estimer que les distances données sont approximatives.

Toute étude impliquant un travail basé sur des sources historiques est inévitablement associée à une incertitude liée à des questions de précision spatiale, attributaire et temporelle des données, de même qu'aux stratégies qui soutendent la carte et aux objectifs que l'auteur ou le commanditaire lui ont assignés. Les principales limites de ce type de démarche ont été classées (Gurnell et al., 2003) en trois grandes catégories : contraintes de précision spatiale, contraintes de précision attributaire et contraintes de précision temporelle.

Les contraintes de précision spatiale sont : limites techniques du matériel de levée ; évolution des méthodes de mesure de terrain ; erreurs conceptuelles sur le terrain ; biais liés aux différences d'échelle de représentation au sein d'un même corpus ; biais liés aux différences de système de projection au sein d'un même corpus ; erreurs liées à la distorsion de l'image et à l'angle de prise de vue (photos) ; perte de précision liée à la pixellisation d'informations linéaires lors de la numérisation ; déformation liée au géoréférencement. Il y a nécessité d'intégrer aussi dans les limites de cette méthode les incertitudes liées à la digitalisation des formes. Les Contraintes de précision attributaire sont : biais liés à la démarche d'interpolation des attributs (altitude) ; erreurs d'interprétation des attributs représentés. Les Contraintes de précision temporelle sont : dates de levée hétérogènes au sein d'un même corpus, voire d'une série ; révisions seulement partielles de certaines planches ; usure et distorsion du papier avec le temps.

Dans cette étude, les documents les plus anciens sont concernés par la quasi-totalité des contraintes listées ci-dessus. Les supports sont en effet souvent usés/abîmés ; les échelles sont hétérogènes ; les fichiers dont nous disposons sont des photographies plutôt que des scans ; et les informations concernant le contexte de production sont anecdotiques. C'est pourquoi l'analyse de ces documents est restée qualitative et secondaire.

Dans le cas des cartes réalisées par la Direction Topographique Militaire, la connaissance du contexte de production et la qualité des supports sont meilleures. Ces documents plus récents ont été utilisés pour l'analyse quantitative, la plupart des contraintes ayant pu être évitées : les outils et méthodes de levée sont relativement perfectionnés ; les systèmes de projection sont homogènes ; les supports sont de bonne qualité et ont pu être scannés ; les échelles ne dépassent pas 1 : 50 000 ; le géoréférencement a été jugé de qualité ; les dates hétérogènes au sein d'une même série ont été jugées représentatives d'une décennie ; et le contexte de production des documents, notamment les dates et emprises des révisions, sont bien connues.

Les sources textuelles et d'autres documents d'archives consultés sont rédigés dans des langues différentes : le roumain, le français, l'anglais, le latin, le grec et, pour une petite partie, le russe, le turc et l'allemand. Parfois les documents ont fait l'objet de traductions successives dans des langues différentes. Donc il faut toujours envisager une légère altération de l'information liée à la traduction et l'interprétation des textes par les différents auteurs.

Conclusion du chapitre 6

Pour la réalisation de cette étude une base de données cartographique a été créée avec des sources variées : instituts de recherche, archives nationales, gestionnaires actuels et passés du delta, ainsi que beaucoup des sources en ligne. Cette base de données, qui a été enrichie tout au long de l'avancement de la thèse, est composée aujourd'hui de près de 500 cartes, classée dans trois grandes catégories en fonction de l'échelle : petite, moyenne et grande. Les cartes à petite et moyenne échelle ont fait l'objet d'une analyse qualitative, tandis que les cartes à grande échelle on fait l'objet d'une analyse quantitative. Ces dernières ont été géoréférencées et quatre années de référence, couvrant la période 1950-2010, caractérisées par de très importantes transformations, ont été choisies pour une analyse plus poussée avec la digitalisation des canaux, digues et lacs. Ces éléments ont été quantifiés et ont fait l'objet d'une comparaison à l'aide d'une grille de 1 km². Les transformations mises en évidence par l'analyse des documents cartographiques ont été complétées avec beaucoup d'informations issues de sources écrites.

Un nombre important de documents textuelles, mais aussi d'autres types comme des plans, des photographies, des cartes postales, des tableaux..., en provenance des archives nationales de Tulcea et Galati ou des archives des différents instituts de recherche ont été étudiées pendant de longues missions de terrain totalisant plusieurs mois. Les documents issus des archives, surtout pour la période communiste, nous ont beaucoup aidés pour expliquer les changements importants montrés par l'analyse diachronique des cartes de cette période, liés à un aménagement intensif du delta du Danube.

Conclusion deuxième partie

L'analyse des évolutions de notre terrain d'étude se fait par une approche à différentes échelles (Fig.2) : à l'échelle du site, par les carottages ; à l'échelle des régions, à travers les projets d'aménagements trouvés dans les archives ; à l'échelle de la totalité de notre terrain d'étude, à l'aide des cartes.

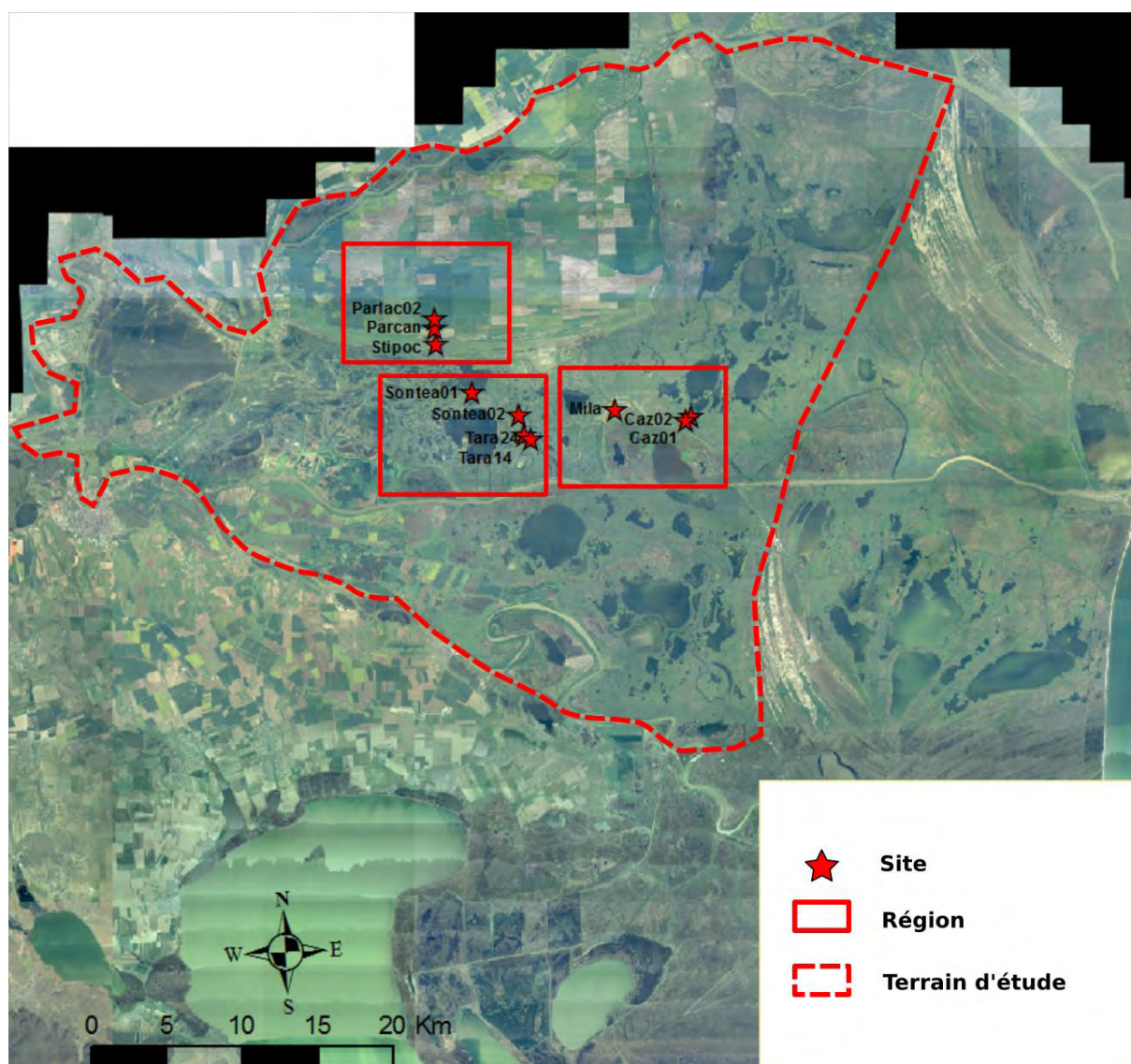


Fig.2 Approche à différentes échelles
Source images ortho-photo : MNIR

Ces trois approches traitent des échelles de temps différentes, si les carottages nous donnent l'évolution sur un temps long, souvent de plusieurs millénaires, les deux dernières concernent des périodes beaucoup plus courtes de dizaines d'années, jusqu'à environ un siècle et demi.

Une importante quantité de données, à la fois sédimentaires ainsi que cartographiques et textuelles, a été acquise pour reconstituer les trajectoires d'évolution de la partie fluviale du delta du Danube.

L'utilisation de ces deux approches doit nous permettre de répondre à la problématique énoncée. A travers les carottes sédimentaires nous avons reconstitué l'évolution sur plusieurs centaines de milliers d'années pour certains sites, tandis que l'analyse des cartes et d'autres documents d'archive nous aide à reconstituer et quantifier l'histoire assez récente des interventions anthropiques.

L'originalité de ce travail repose sur les informations issues des archives de l'époque communiste : projets d'aménagement, rapports, études... Autant de sources inédites offrant des informations qu'on ne retrouve pas dans les recherches bibliographiques habituelles, dont l'accès nécessite des accords spéciaux, voire une demande de déclassification, et aident à compléter l'histoire des aménagements dans le delta du Danube.

Troisième partie :

Les archives sédimentaires de la partie fluviale du delta du Danube

Introduction troisième partie

Cette partie, dédiée à la reconstitution de l'évolution environnementale sur le « temps long » de la partie fluviale du delta du Danube, est basée sur des sondages sédimentaires réalisés sur plusieurs sites. Les secteurs d'étude choisis sont situés dans la partie amont du delta, la région considérée comme le delta fluvial, construit donc essentiellement par le Danube. Les limites du delta fluvial sont, à l'ouest l'apex du delta, au nord le Bras de Chilia, au sud le Bras de Tulcea et ensuite, après le « Ceatal de Sf. Gheorghe », le Bras Sf. Gheorghe, à l'est le deux grandes rides de sables, la ride Letea dans la partie Nord et la ride Caraorman au Sud (Fig.3) qui séparent la partie fluviale du delta de la partie fluvio-maritime.



Fig.3 La partie fluviale du Delta du Danube
Source fond de carte : S. Constantinescu, 2013

Nous avons réalisé plusieurs carottages dans la région choisie et nous avons utilisé pour cette étude 10 carottes, parmi les 11 effectuées, situées dans la partie centrale du secteur pour faire des analyses plus détaillées (Fig.4).

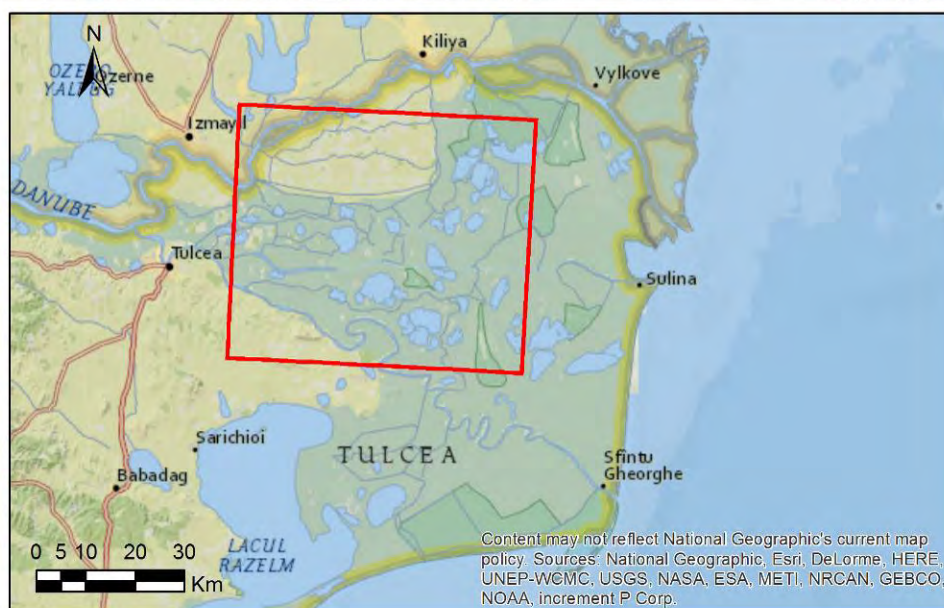
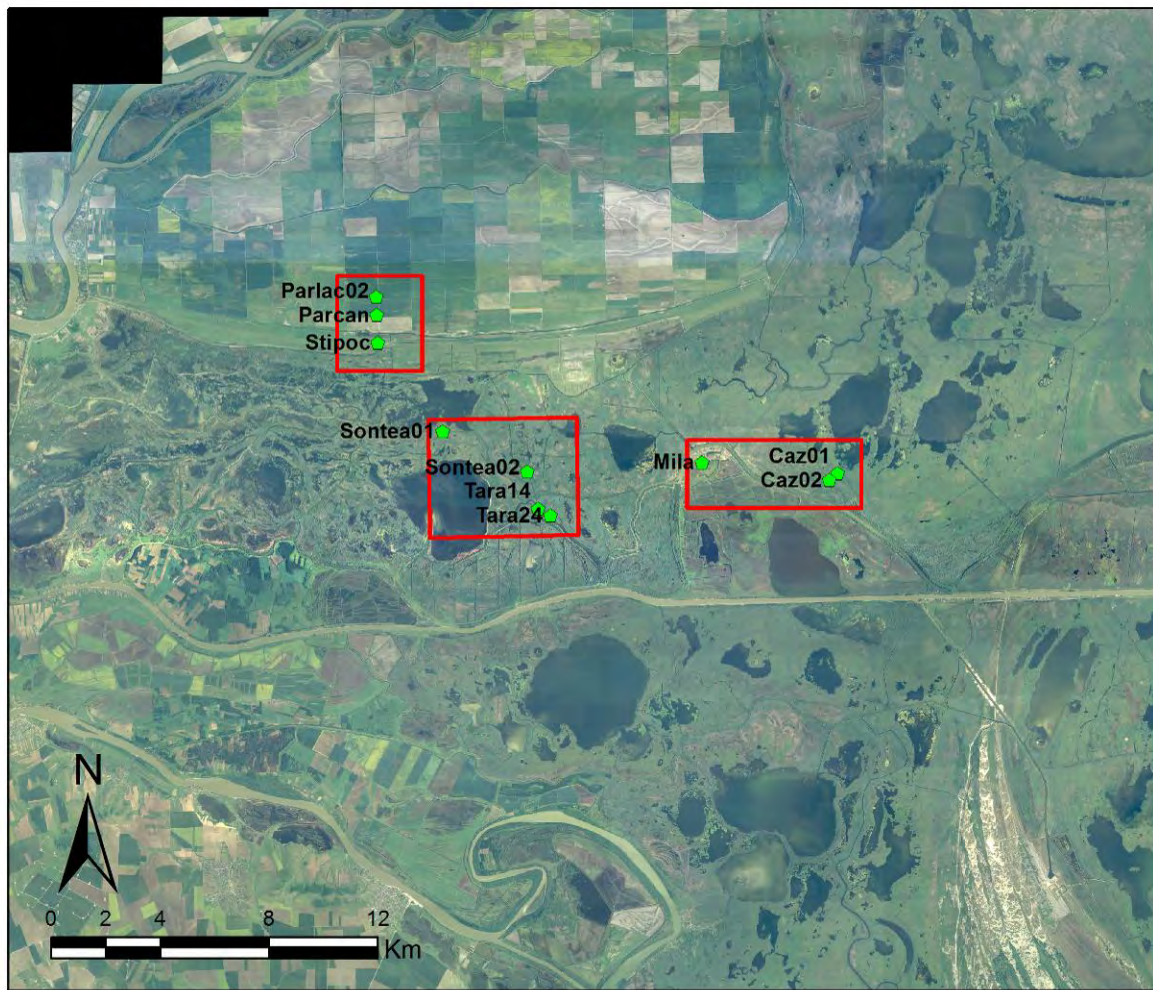


Fig.4 Localisation des carottes regroupés en régions d'étude
 Source fond de carte : 1-MNIR ; 2-ArcGis

Les 10 carottes sont regroupées dans 3 zones d'étude « Pardina », « Fortuna- Sontea » et « Les Méandres de Mila ». A partir des données GPS nous avons récupéré les cotes d'altitudes à partir des données LIDAR qui datent de 2011, détenues par L'Institut National de Recherche Delta du Danube de Tulcea.

Les 10 carottes font au total 79 m, dont 78 (le premier mètre de la carotte tubée Tara24 n'a pas été récupéré) ont été échantillonnés directement sur le terrain, dans le cas des carottes réalisées avec la gouge ouverte, ou au laboratoire GEODE, après leur transport du delta du Danube jusqu'à l'Université Jean-Jaurès (Toulouse, France) pour les carottages tubés. Au total 755 niveaux ont été analysés avec un total de 1521 échantillons (755 pertes au feu et 766 analyses de granulométrie). Nous avons analysé en moyenne un échantillon tous les 10 cm (9,67 échantillons/m), avec une densité plus importante pour les carottes tubées (7 carottes - 52m, donc en moyenne 11,82 échantillons/m) et moins d'échantillons analysés pour les carottes réalisées avec la gouge ouverte (3 carottes – 26 m, donc en moyenne 5,38 échantillons/m).

Cette partie expose dans trois chapitres l'interprétation des données sédimentaires issues des missions de terrain, regroupées en trois régions : Chapitre 7 – La dépression lacustre de Pardina, avec trois carottages analysés ; Chapitre 8 – Les environ du vieux Canal Sontea, qui comprend quatre carottes ; Chapitre 9 – La région des Méandres de Mila avec trois sondages.

Chapitre 7

La dépression lacustre de « Pardina »

Pardina, une ancienne dépression lacustre située au nord-ouest du delta du Danube (Fig.7.1), a été transformée en polder agricole dans les années 1980. Trois carottes ont été extraites au niveau de cette dépression, ParLac (7m), ParCan (10m) et Stipoc (7m).



Fig.7.1 Localisation des carottes à Pardina
Source fond de carte : 1-MNIR ; 2-ArcGis

Les choix d'implantation de ces trois carottages ont été dictés par la complémentarité des informations recherchées. Le site de ParLac, localisé dans un lac qui a été asséché (lac

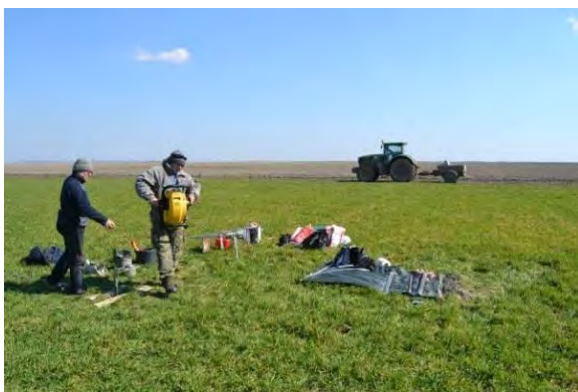
Tigaiu Mare), visait à répondre à notre recherche d'un enregistrement sédimentaire de type lacustre. Le site de ParCan a été choisi pour sa localisation liée à un petit distributaire. Il avait pour objectif de mieux cerner les processus d'édification de ce type d'unité sédimentaire et de cerner la chronologie de sa formation. Enfin, le carottage de Stipoc visait à répondre aux interrogations sur l'âge et la nature de la Ride Stipoc. L'ensemble de ces 3 carottes dessine un transect orienté nord-sud.

7.1 Les Carottes Parlac

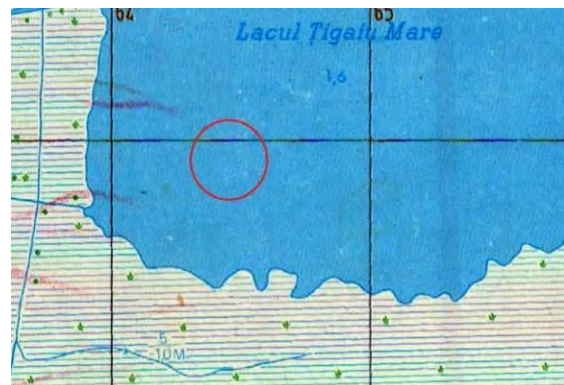
Deux carottages ont été effectués dans cet endroit à une distance de 2 mètres l'un de l'autre. Le premier, nommé ParLac01, a été réalisé avec une gouge ouverte jusqu'à une profondeur de 7 mètres. Une description sommaire de la colonne sédimentaire a été réalisée sur place et quelques échantillons (coquilles et sédiments) ont été prélevés. Le deuxième carottage, nommé ParLac02, a été réalisé avec une gouge fermée jusqu'à 7 mètres de profondeur et la colonne sédimentaire a été transportée au laboratoire dans des tubes en plastique d'un mètre.

7.1.1 Localisation

Située à l'extrémité nord du transect, la carotte ParLac02 a atteint une profondeur de 7 m. Les données anciennes disponibles indiquent que le lac Tigaiu Mare avait une profondeur de 1,6 m et une surface de 3,5 km² avant son colmatage artificiel au cours des années 1980.



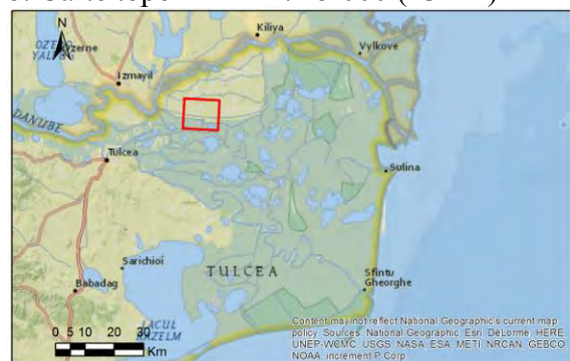
a. Photo site carottage



b. Carte topo DTM 1 : 25 000 (ICEM)



c. Image ortho-photo 2011 (MNIR)



d. Localisation terrain (ArcGis)

Fig.7.2 Localisation de la carotte ParLac02

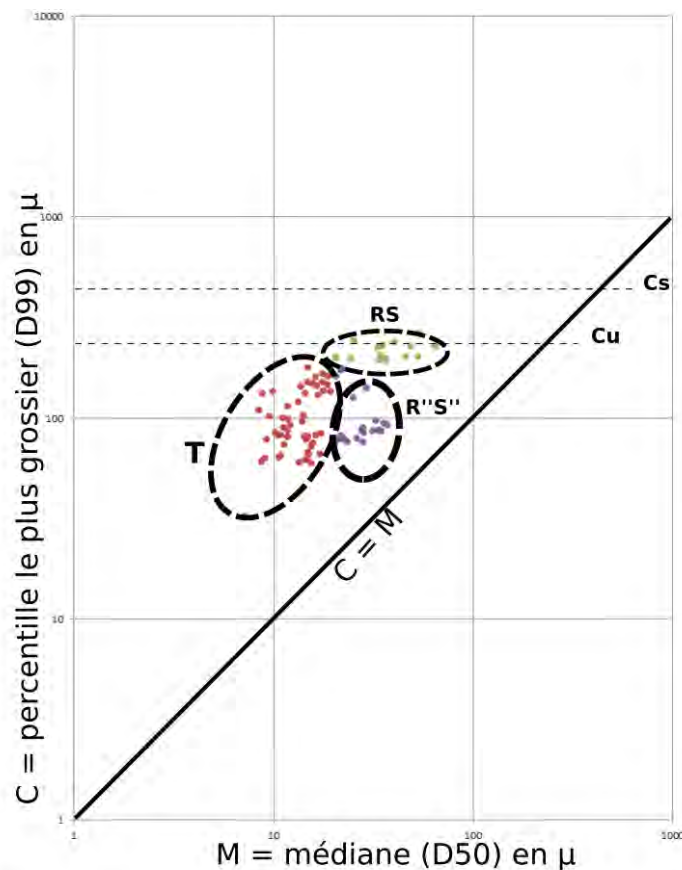
C'était le troisième lac en surface de la région de Pardina, d'après la carte DTM de 1980 (Fig.7.2 b). L'enregistrement « naturel » du lac est donc réduit à environ 5,50 m, en fonction du tassement différentiel. L'altitude du sommet de la carotte a été estimée à -0,55 m bsl. La base du remplissage n'a pas été atteinte. La topographie actuelle du site ne trahit pas l'existence antérieure du lac (Fig.7.2 a).

7.1.2 Description

92 échantillons ont été prélevés en laboratoire pour analyses, ce qui donne en moyenne un pas d'échantillonnage de 7,6 cm, soit environ 13 échantillons par mètre. Des analyses granulométriques et des pertes au feu ont été réalisées, ainsi que des mesures de susceptibilité magnétique et de spectrophotométrie (Fig.7.4). En complément, 4 datations ^{14}C ont été réalisées.

7.1.3 Image CM

La projection des individus sur l'image CM révèle des échantillons appartenant aux trois segments (Fig.7.3) : dépôts de suspension uniforme -segment RS ; et dépôts de suspension de type pélagique -segment T, et le segment R''S'' (Arnaud-Fassetta, 1998).



- Cs** - la taille maximale des particules transportées par suspension graduée
- Cu** - la taille maximale des particules transportées par suspension uniforme
- T** - suspension pélagique
- RS** - suspension uniforme
- R''S''** - suspension uniforme en mode calme

Fig.7.3 Diagramme C/M ParLac02

7.1.4 Analyse et interprétation de la carotte ParLac02

La séquence ParLac02 (Fig.7.4), dans l'ensemble relativement homogène et limono-sableuse, montre la succession suivante :

L'unité 1, de 40 cm d'épaisseur, (-7,00 m à -6,60 m sous la surface topographique) correspond à un faciès Fsm, avec un grain moyen qui varie de 20 à 30 microns. Les limons dominent cette unité, avec une moyenne de 82,8%, contre 13,8% argiles et 3,3% sables. On note la proportion de limons très grossiers avec une moyenne de 21,7%. L'indice de tri varie de 1,6 à 2,2 ce qui indique des sédiments peu à très peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs entre 0,34 à 0,50 indiquant des échantillons très asymétriques vers les fins. La matière organique présente de faibles valeurs à moins de 1%, tandis que les carbonates présentent une hausse vers la profondeur, de 12% dans la partie supérieure à 16% vers la base de la carotte. La susceptibilité magnétique de cette unité a des valeurs supérieures à la moyenne de la carotte avec $2,41 \text{ E-}^{04}$ S.I., contre $1,67 \text{ E-}^{04}$ S.I. pour toute la carotte, avec des variations importantes, mesures situées entre $-3,3 \text{ E-}^{06}$ S.I. et $4,36 \text{ E-}^{04}$ S.I..

Cette unité correspond à un milieu lacustre avec des sédiments plus grossiers, qui suggère des apports distaux, depuis un chenal éloigné.

L'unité 2, de 220 cm d'épaisseur, (-6,60 m à -4,40 m sous la surface topographique) correspond à un faciès Fm, avec un grain moyen situé autour de 10 microns. Les limons dominent aussi cette unité, avec une moyenne de 82,3%, contre 14,1% argiles et 3,6% sables, mais on note une baisse de la proportion de limons très grossiers, par rapport à l'unité 1, avec une moyenne de 16,2%. L'indice de tri oscille autour de 2 ce qui indique des sédiments très peu triés. L'indice d'asymétrie dans la moitié supérieure de l'unité varie entre 0,10 et 0,30 avec une asymétrie vers les fins, tandis que dans la moitié inférieure l'indice dépasse 0,30 indiquant des échantillons très asymétriques vers les fins. Les valeurs de la matière organique augmentent un peu et se situent en général entre 1% et 2%, dépassent les 2 % seulement dans la partie médiane de l'unité. Les carbonates présentent une forte variation avec des valeurs comprises entre 8% et 21%. Les valeurs les plus élevées sont situées dans la partie médiane de l'unité, représentant aussi le maximum pour la carotte ParLac. On note la présence de coquillages à différentes profondeurs (-5,42m ; -5,64m ; -6,50m). La susceptibilité magnétique ne présente pas des variations importantes dans la moitié supérieure, avec une moyenne de $1,35 \text{ E-}^{04}$ S.I.. Dans la partie profonde de l'unité, après un passage avec des valeurs négatives (moyenne $-2,09 \text{ E-}^{04}$ S.I.), situé entre -5,63m et -5,75m, les variations sont importantes, avec des mesures situées entre $9,05 \text{ E-}^{05}$ S.I. et $5,49 \text{ E-}^{04}$ S.I. (le maximum pour l'unité et pour la carotte).

L'unité 2 correspond à un milieu lacustre calme caractérisé par une sédimentation par décantation.

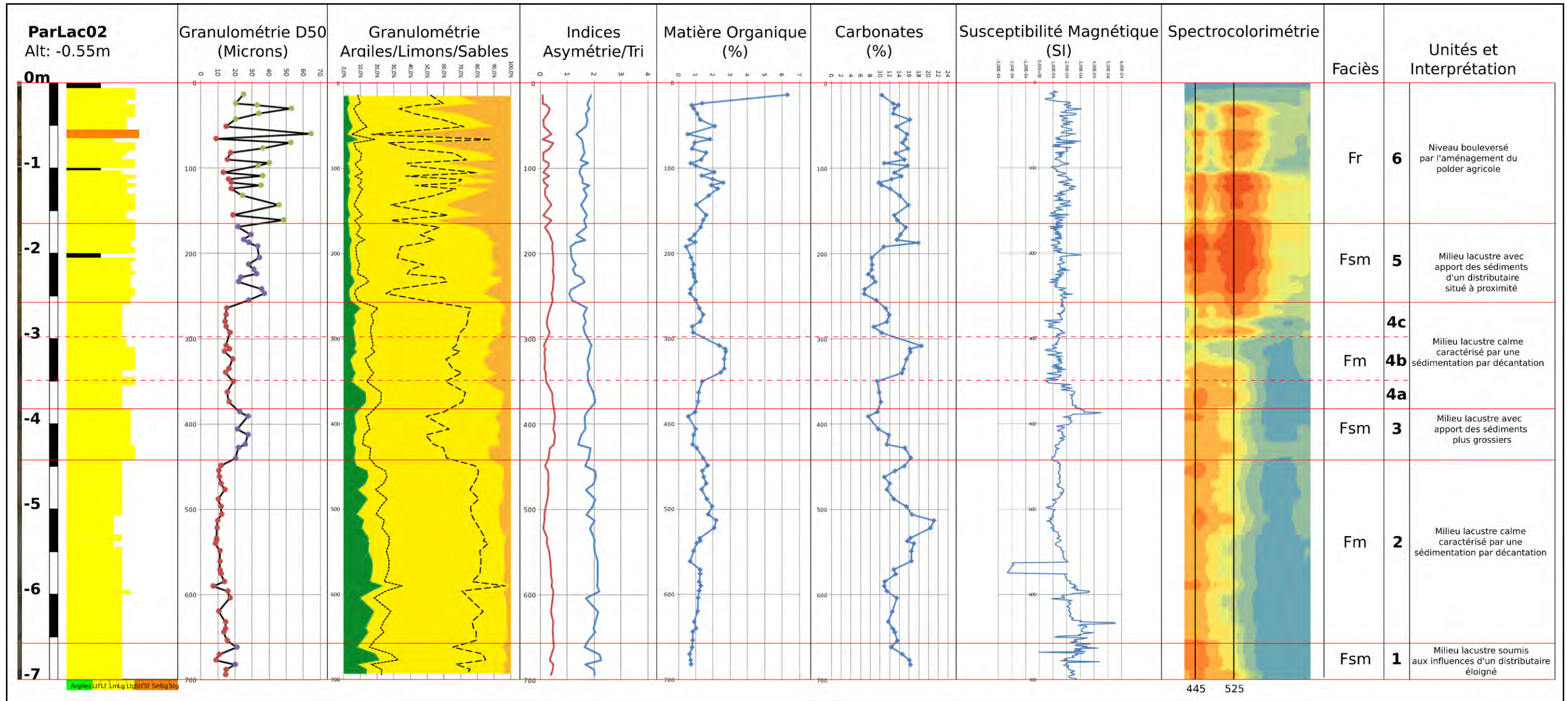


Fig.7.4 Résultats des analyses et interprétation de la carotte ParLac02

L'unité 3, 60 cm d'épaisseur, (-4,40 m à -3,80 m sous la surface topographique) correspond à un faciès Fsm, avec un grain moyen qui oscille entre 20 et 30 microns. Les limons dominent cette unité, avec une moyenne de 84,6%, contre 8% argiles et 7,4% pour les sables. On note l'augmentation de limons très grossiers avec une moyenne de 30,7%, par rapport à l'unité 2 (moyenne 16,2%). L'indice de tri varie de 1,4 à 2 ce qui indique des sédiments peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs supérieures à 0,30, indiquant des échantillons très asymétriques vers les fins. La matière organique présente une baisse par rapport à l'unité 2, avec des valeurs situées autour de 1%. Une baisse est enregistrée aussi pour les carbonates, avec les valeurs les plus élevées situées dans la partie inférieure de l'unité (16 %), et les valeurs moins importantes (8%) enregistrées dans la partie supérieure de l'unité. On note la présence de rares coquilles. La susceptibilité magnétique, avec une moyenne à $1,89^{E-04}$ S.I. présente une hausse du bas vers le haut, avec des valeurs comprises entre $8,79^{E-05}$ S.I. et $4,50^{E-04}$ S.I. L'unité 3 correspond à un milieu lacustre avec apport de sédiments plus grossiers qui correspondent à des sables pro-deltaïques, mis en place à l'exutoire d'un chenal.

L'unité 4, de 125 cm d'épaisseur, (-3,80 m à -2,55 m sous la surface topographique) correspond à un faciès Fm, avec un grain moyen qui oscille entre 10 et 20 microns. Les limons dominent cette unité, avec une moyenne de 84,3%, contre 8,1% argiles et 7,6% pour les sables. Trois sous-unités ont été distinguées compte tenu de la proportion des sables, des argiles et de la teneur en matière organique et carbonates.

La sous-unité 4a, de 30 cm d'épaisseur, (-3,80m à -3.50m), composée d'argiles 6,5% et de sables 4,7%, a des valeurs pour la matière organique situées autour de 1%, et pour les carbonates entre 14% et 18%. La sous-unité 4b, de 50 cm d'épaisseur, (-3,50m à -3,00m), composée des argiles 6% et sables 12,9%, a des valeurs pour la matière organique situées entre 2% et 3%, et pour les carbonates entre 8%-12%. La sous-unité 4c, de 45 cm d'épaisseur, (-3,00m à -2,55m), composée d'argiles 13,1% et de sables 4,2%, a des valeurs pour la matière organique situées autour de 1%, et pour les carbonates autour de 10%. L'indice de tri varie de 1,19 à 2 ce qui indique des sédiments peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs supérieures à 0,30 pour les sous-unités 4a et 4c indiquant des échantillons très asymétriques vers les fins et des valeurs inférieures à 0,30 pour la sous-unité 4b correspondant a une asymétrie vers les fins. La susceptibilité magnétique a des variations moyennes pour les sous-unités 4a et 4b, et présente une hausse vers la profondeur dans la sous-unité 4c, avec un maximum de $3,05^{E-04}$ S.I.

L'unité 4 correspond à un milieu lacustre calme caractérisé par une sédimentation par décantation. Cette séquence pourrait être associée à un éloignement des sources d'apports détritiques.

L'unité 5, de 70 cm d'épaisseur (-2,55 m à -1,75 m sous la surface topographique), correspond à un faciès Fsm, avec un grain moyen qui oscille entre 20 et 40 microns. Les limons sont majoritaires dans cette unité, avec une moyenne de 85,6%, contre 10,2% pour les sables, et 4,2% pour les argiles. Les valeurs des limons très grossiers sont situées à 46,4%. L'indice de tri varie de 1 à 1.7 ce qui indique des sédiments peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs supérieures à 0,30, indiquant des échantillons très asymétriques vers les fins. Les

valeurs de la matière organique sont en baisse, par rapport à l'unité précédente et se situent à moins de 1%. Les carbonates, avec des valeurs de 6 % dans la partie profonde de l'unité, montent jusqu'à 18 % dans la partie supérieure. On note la présence de coquillages à différentes profondeurs (-1,77m ; -2,30m ; -2,49m). La susceptibilité magnétique, avec une moyenne à $1,48^{E-04}$ S.I. ne présente pas de variations importantes.

L'unité 5 correspond à un milieu lacustre avec des apports sédimentaires de type pro-deltaïques, qui attestent de la progradation du système fluvial.

L'unité 6, de 175 cm d'épaisseur (-1,75 m à la surface topographique) correspond à un faciès Fr, faciès commun dans les plaines d'inondation végétalisées, avec un grain moyen qui varie de 10 à 60 microns. Les limons restent majoritaires dans cette unité, avec une moyenne de 71,1%, pour 25,7% sables et 3,2% argiles. Sur les premiers 15 cm à partir de la surface topographique on note le développement d'un sol avec des restes végétaux, indiqué aussi par des valeurs élevées de matière organique situées à plus de 6%. Ensuite, le niveau est caractérisé par une alternance de limons fins et moyens avec des limons grossiers et très grossiers, voire des sables fins. Cette alternance se reflète aussi dans les variations des courbes des carbonates, qui ont des valeurs situées entre 10% et 16%, et de la susceptibilité magnétique, pour une moyenne à $1,70^{E-04}$ S.I. les valeurs sont entre $4,17^{E-05}$ S.I. et $3,07^{E-04}$ S.I. Des restes végétaux et de rares coquilles sont présents dans la totalité de l'unité.

L'unité 6 correspond au niveau bouleversé par l'aménagement du polder agricole de Pardina. Les sédiments plus grossiers, les limons sableux et les sables limoneux proviennent des zones adjacentes, suite au remplissage du lac. Il s'agit donc d'une unité anthropique.

7.1.5 Identification des espèces de coquilles des carottes ParLac01 et ParLac02

| | | 100-200 | 230 | 244 | 273 | 590 | 650 |
|--|----------------------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Especies marines | <i>Cardium edule</i> | | | | | 3 | |
| Especies qui preferent les eaux saumâtres | <i>Hypania sp.</i> | | 14 | 2 | | | |
| | <i>Hydrobia sp.</i> | 1 | | | | | |
| Especies d'eau douce | <i>Viviparus sp.</i> | | | | 1 | | 1 |

Tableau 7.1 Espèces des coquilles – carotte ParLac01

| | | 250 | 403 | 605-606 | 646-652 | 662-663 |
|--|----------------------|-----|-----|---------|---------|---------|
| Especies marines | <i>Cardium edule</i> | | | 2 | | |
| Especies qui preferent les eaux saumâtres | <i>Hypania sp.</i> | 1 | 3 | | 2 | |
| Especies d'eau douce | <i>Viviparus sp.</i> | | | | 2 | 1 |

Tableau 7.2 Espèces des coquilles – carotte Coquilles ParLac02

Si vers la base des carottes (-6,50 m, -6,62 m, -6,63 m) nous avons identifié des espèces d'eau douce (*Viviparus sp.*) et saumâtres (*Hypanis sp.*, -6,46, -6,52) on remarque dans l'unité 2, autour de -6 m (-5,90 m, -6,05 m, -6,06 m), un niveau avec des espèces marines (*Cardium edule*). Ensuite apparaissent vers la surface des espèces préférant les eaux saumâtres (*Hypanis sp.*, *Hydrobia sp.*), avec une seule exception d'une espèce d'eau douce (*Viviparus sp.*) retrouvée dans la carotte ParLac01 (-2,73 m).

7.1.6 Datations

4 échantillons de la carotte ParLac02 ont été datés, le matériel utilisé pour toutes les datations étant le sédiment organique.

| Nom | Age 14C | Matériel | Calibration 1 | Calibration 2 |
|--------------|--------------|--------------------|-----------------|-----------------|
| ParLac(1,40) | 5 440±40 BP | Sédiment organique | -4 340/-4 261 | -4 358/-4 233 |
| ParLac(2,51) | 4 470±35 BP | Sédiment organique | -3 330/-3 091 | -3 341/-3 024 |
| ParLac(4,67) | 3 940±180 BP | Sédiment organique | -2 837/-2 147 | -2 900/-1 954 |
| ParLac(6,85) | 11 720±70 BP | Sédiment organique | -11 652/-11 502 | -11 781/-11 480 |

Tableau 7.3 Datations carotte -ParLac02

Les quatre datations 14C qui ont été réalisées ne sont pas cohérentes. Elles montrent une inversion générale. Si la datation de base, située dans l'unité 1, est bien la plus ancienne (11 781-11 480 BP à -6.85 m), l'âge obtenu semble irréaliste. L'inversion des 3 dates suivantes, situées dans les unités 2,5 et 6, confirme ce diagnostic. Il s'agit de 4 dates réalisées sur la fraction organique du *bulk* (sédiment organique). Elles doivent être considérées comme indicatives d'un âge moyen des matières organiques déposées et non de l'âge des niveaux eux-mêmes. Il s'agit là d'une particularité du fonctionnement du système lacustre de Pardina. L'augmentation du temps de résidence des MO dans l'amont du système lacustre résulte probablement du développement du système de plaine alluviale sur le lac de Pardina, dont le rôle tampon s'accroît au fur et à mesure de son extension spatiale.

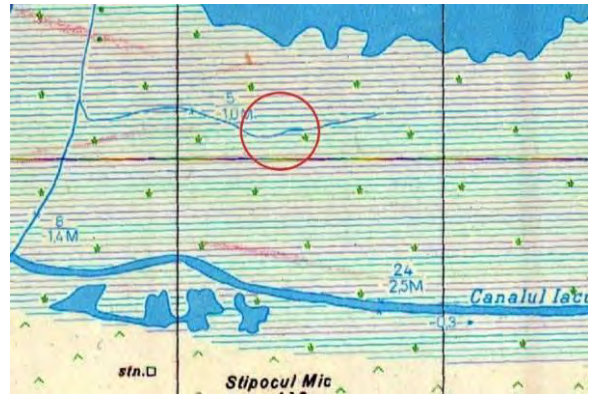
7.2 Carotte ParCan

7.2.1 Localisation

La carotte ParCan, située au milieu de notre transect, est implantée sur un ancien chenal distributaire qui existait avant la poldérisation de la dépression et communiquait avec le canal « Garla Hliboca ». Ce distributaire traversait la région d'ouest à l'est, d'après les cartes DTM (Fig.7.5 b). L'analyse diachronique des cartes topographiques de 1950, 1960, 1970 et 1980 indique qu'entre les années 1970 et les années 1980, le canal montre des signes de colmatage (réduction de sa largeur, déconnexion aval). Le carottage de ParCan a atteint la profondeur de 10 m et a rencontré un niveau grossier qui peut être assimilé au *substratum* de la dépression. La côte du sommet de la carotte étant -0,26 m bsl, il est probable que le fond du lac soit à une côte voisine de - 10 m bsl.



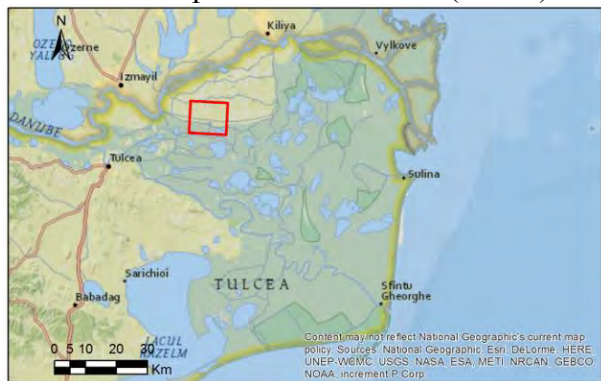
a. Photo site carottage



b. Carte topo DTM 1 : 25 000 (ICEM)



c. Image ortho-photo 2011 (MNIR)



d. Localisation terrain (ArcGis)

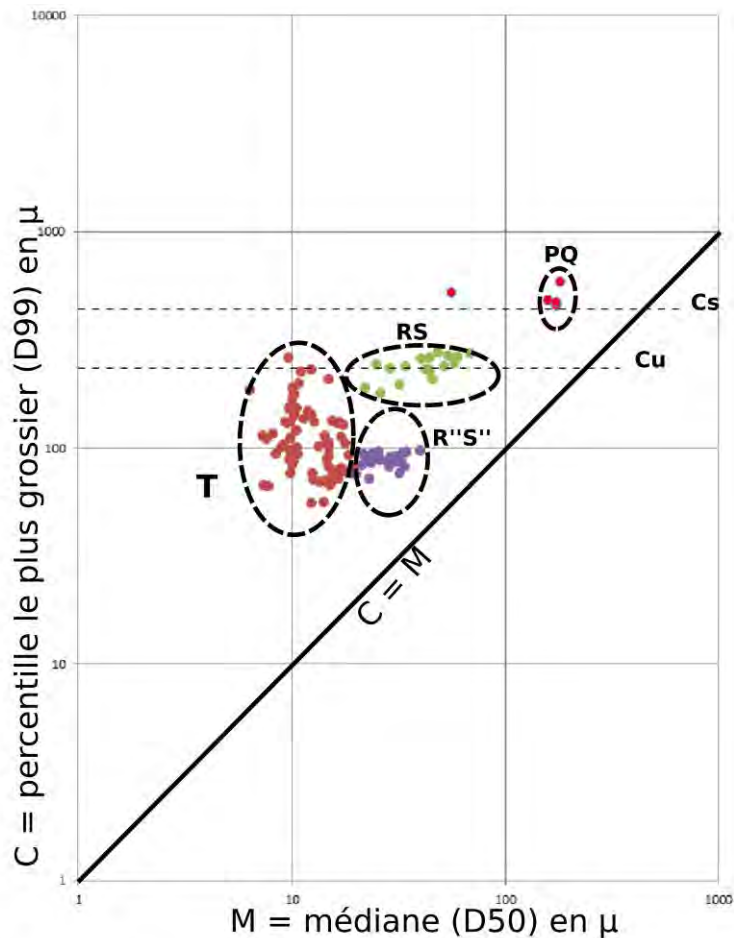
Fig.7.5 Localisation de la carotte ParCan

7.2.2 Description

122 échantillons ont été prélevés en laboratoire pour les analyses, ce qui donne en moyenne un pas d'échantillonnage de 8,2 cm, soit environ 12 échantillons par mètre. Des analyses de granulométrie et des pertes au feu ont été réalisées, ainsi que des mesures de susceptibilité magnétique et de spectroradiométrie (Fig.7.6). En complément, 5 datations ¹⁴C ont aussi été réalisées.

7.2.3 Image CM

La projection des individus sur l'image CM révèle des échantillons appartenant aux quatre segments (Fig.7.6) : dépôts de roulement – segment PQ ; dépôts de suspension uniforme -segment RS ; dépôts de suspension de type pélagique -segment T ; et le segment R''S'' (Arnaud-Fassetta, 1998). L'absence d'un segment de transition QP évoque un changement brutal d'environnement.



- Cs** - la taille maximale des particules transportées par suspension graduée
- Cu** - la taille maximale des particules transportées par suspension uniforme
- T** - suspension pélagique
- RS** - suspension uniforme
- R''S''** - suspension uniforme en mode calme
- PQ** - roulement

Fig.7.6 Diagramme C/M ParCan

7.2.4 Analyse et interprétation de la carotte ParCan

La séquence ParCan montre la succession suivante :

L'unité 1, de 40 cm d'épaisseur, (-10,00 m à -9,60 m sous la surface topographique) correspond à un faciès Sm, avec un grain moyen qui est supérieur à 100 microns, voire à 150 microns pour la plupart des échantillons analysés. Les sables dominent ce niveau avec une moyenne de 58%, et des valeurs maximales pour certains échantillons à plus de 80%. Les limons représentant 37,2% et les argiles 4,8%. L'indice de tri varie de 1,2 à 2,7 ce qui indique des sédiments peu triés à très peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs entre -0,04 à 0,68 indiquant une variété des échantillons, de presque symétriques à très asymétriques vers les fins. La matière organique a de faibles valeurs à moins de 1%, tandis que les carbonates présentent des valeurs élevées comprises entre 16% et 28%.

La susceptibilité magnétique de cette unité présente une forte variabilité, pour une moyenne de $2,80^{E-04}$ S.I., nous avons un maximum à $5,18^{E-04}$ S.I. et un minimum à $5,96^{E-05}$ S.I. L'unité 1 correspond à des dépôts des chenaux d'un chenal actif, une formation antérieure à la formation du lac de Pardina.

L'unité 2, de 190 cm d'épaisseur (-9,60 m à -7,70 m sous la surface topographique) correspond à un faciès Fm, avec un grain moyen qui oscille autour de 10 microns. Les limons dominent cette unité, avec une moyenne de 85,8%, contre 9,6% argiles et 4,6% pour les sables. L'indice de tri varie de 1,5 à 2 ce qui indique des sédiments peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs en grande partie comprises entre 0,10 et 0,30 indiquant des échantillons asymétriques vers les fins. La matière organique présente une hausse par rapport à l'unité 1, avec des valeurs situées entre 1% et 2%. La variation des carbonates est moins importante que dans l'unité précédente, avec des valeurs situées entre 10% et 14%. La susceptibilité magnétique, avec une moyenne à $2,80^{E-04}$ S.I. présente de petites oscillations, avec des valeurs comprises entre $1,28^{E-04}$ S.I. et $2,96^{E-04}$ S.I..

L'unité 2 correspond à un milieu calme caractérisé par des conditions sédimentaires de faible énergie. La légère augmentation des taux de matière organique pourrait indiquer une évolution vers des conditions eutrophes. Cette unité s'est mise en place en contexte lacustre distal.

L'unité 3, de 160 cm d'épaisseur (-7,70 m à -6,10 m sous la surface topographique) correspond à un faciès Fsm, avec un grain moyen qui oscille entre 15 et 25 microns. Les limons dominent cette unité, avec une moyenne de 84,2%, contre 10,9% argiles et 4,9% pour les sables. On note l'augmentation de limons très grossiers avec une moyenne de 26,7%, par rapport à l'unité 2a (moyenne 11,6%). L'indice de tri varie de 1,5 à 2 ce qui indique des sédiments peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs en grande partie comprises entre 0,30 et 0,52 indiquant des échantillons très asymétriques vers les fins. La matière organique a des faibles valeurs situées autour de 1%, et les carbonates présentent des valeurs comprises entre 8% et 14%. La susceptibilité magnétique, avec une moyenne à $2,30^{E-04}$ S.I. présente des variations importantes, avec des valeurs comprises entre $6,41^{E-05}$ S.I. et $3,75^{E-04}$ S.I..

L'unité 3 correspond toujours à un milieu de dépôt lacustre, mais montre une tendance à l'augmentation du grain moyen. Cela atteste d'une légère augmentation de l'énergie du milieu de dépôt, en relation avec un rapprochement d'un chenal distributaire.

L'unité 4, de 190 cm d'épaisseur (-6,10 m à -4,20 m sous la surface topographique) correspond à un faciès Fm, avec un grain moyen qui oscille autour de 15 microns. Les limons sont majoritaires, avec une moyenne de 84,6%, contre 9,7% argiles et 5,6% pour les sables. Les limons très grossiers avec une moyenne de 21,4%, sont en baisse par rapport à la sous-unité précédente. L'indice de tri varie de 1,6 à 2 ce qui indique de sédiments peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs comprises entre 0,13 et 0,50 indiquant des échantillons asymétriques et très asymétriques vers les fins. La matière organique a de faibles valeurs situées entre 1% et 2%, tandis que les carbonates présentent des valeurs comprises entre 10% et 14%, avec un seul pic à plus de 20 % situé au milieu de la sous-unité (-5,20m).

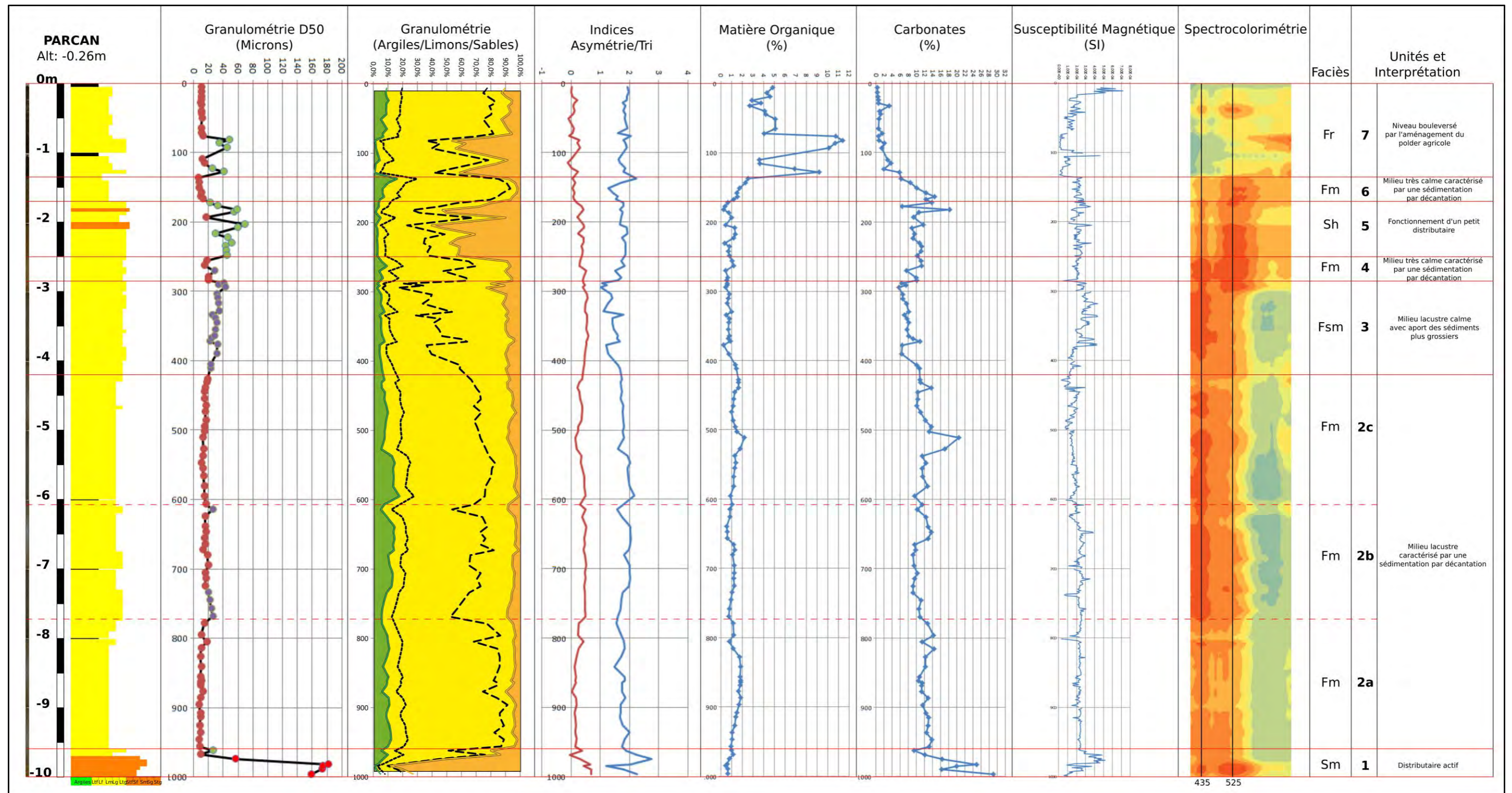


Fig.7.7 Résultats des analyses et interprétation de la carotte ParCan

La susceptibilité magnétique, avec une moyenne à $1,59^{E-04}$ S.I. présente des variations, avec des valeurs comprises entre $3,10^{E-05}$ S.I. et $2,95^{E-04}$ S.I..

L'unité 4 correspond au même milieu lacustre, proche de l'unité 2. Elle indique un retour à des conditions distales de dépôt et une diminution de l'énergie du milieu, probablement associée à un éloignement du chenal distributeur, à sa déconnexion ou à la diminution des apports hydriques.

L'unité 5, de 133 cm d'épaisseur (-4,20 m et -2,87 m sous la surface topographique) correspond à un faciès Fsm, avec un grain moyen qui oscille entre 20 et 40 microns. Les limons sont majoritaires, avec une moyenne de 84,5%, pour 10,2% sable et 5,3% argiles. On note l'augmentation de limons très grossiers avec une moyenne de 48,4%, valeur maximale pour la carotte. L'indice de tri varie de 1,0 à 1,7 ce qui indique des sédiments peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs comprises entre 0,40 et 0,60 indiquant des échantillons très asymétriques vers les fins. La matière organique a de faibles valeurs situées à moins de 1%, et les carbonates présentent des valeurs comprises entre 6% et 8%, avec un seul pic à plus de 10% situé vers -3,75m de profondeur. On note la présence de plusieurs niveaux de coquillages dans l'unité, situés à -2,87m, -3,17m, -3,38m et -3,84m de profondeur. La susceptibilité magnétique, avec une moyenne à $2,52^{E-04}$ S.I. présente de fortes variations, avec des valeurs comprises entre $1,20^{E-04}$ S.I. et $4,37^{E-04}$ S.I..

L'unité 5 correspond à un milieu lacustre avec apport de sédiments plus grossiers. Cette séquence enregistre le retour à des conditions de dépôts plus énergiques, probablement en position de pro-delta proximal.

L'unité 6, de 37 cm d'épaisseur (entre la -2,87 m à -2,50 m sous la surface topographique) correspond à un faciès Fm, avec un grain moyen qui oscille autour de 20 microns. Les limons sont toujours majoritaires, avec une moyenne de 86,4%, pour 7,5% sable et 6,1% argiles. Les limons très grossiers représentent en moyenne de 30,6% de l'unité. L'indice de tri varie de 1,5 à 1,7 ce qui indique des sédiments peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs comprises entre 0,30 et 0,50 indiquant des échantillons très asymétriques vers les fins. La matière organique a de faibles valeurs, situées autour de 1%, et les carbonates présentent des valeurs comprises entre 8% et 12%. On note la présence de coquillages situés à -2,54m de profondeur. La susceptibilité magnétique, avec une moyenne à $2,01^{E-04}$ S.I. présente des variations, avec des valeurs comprises entre $2,42^{E-04}$ S.I. et $5,49^{E-05}$ S.I..

L'unité 6 correspond à nouveau à un milieu calme caractérisé par une sédimentation par décantation.

L'unité 7, de 80 cm d'épaisseur (entre la -2,50 m à -1,70 m sous la surface topographique) correspond à un faciès Sh, avec un grain moyen qui oscille entre 30 et 70 microns. Les limons sont toujours majoritaires dans cette unité, mais seulement avec une moyenne de 56,9%, les sables sont aussi très bien représentés avec 40,1% et les argiles seulement 3,0%. L'indice de tri varie de 1,6 à 1,9 ce qui indique des sédiments peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs comprises entre 0,18 et 0,42, indiquant des échantillons asymétriques et très asymétriques vers les fins. La matière organique a de faibles valeurs,

situées autour de 1%, et les carbonates présentent des variations assez importantes, comprises entre 6% et 18%. La susceptibilité magnétique, avec une moyenne à $2,22^{E-04}$ S.I. présente des variations, avec des valeurs comprises entre $1,14^{E-04}$ S.I. et $3,68^{E-04}$ S.I..

Dans l'unité 7 la granulométrie des sédiments nous fait penser, en conformité avec le diagramme C/M de Passega, à un environnement d'une plaine d'inondation, mais l'absence d'une alternance des lits avec des sédiments moins grossiers, pour marquer les rythmes des périodes des crues et des étiages, montre que ce n'est pas le cas. Les sédiments sont des dépôts de chenal, mais d'un petit distributaire, situé loin des chenaux principaux.

L'unité 8, de 35 cm d'épaisseur (-1,70 m à -1,35 m sous la surface topographique) correspond à un faciès Fm, avec un grain moyen qui oscille autour de 10 microns. Les limons sont majoritaires avec une moyenne de 86,9%, contre 8,5% argiles et 4,6% sables. L'indice de tri varie de 1,5 à 2,2 ce qui indique des sédiments peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs comprises entre 0,06 et 0,15 indiquant des échantillons presque symétriques et asymétriques vers les fins. La matière organique présente de faibles valeurs, situées entre 1% et 3%, avec une tendance à la hausse vers la partie supérieure de l'unité, et les carbonates présentent une tendance à la baisse vers la surface, avec des valeurs comprises entre 6% et 15%. La susceptibilité magnétique, avec une moyenne à $2,23^{E-04}$ S.I. présente des variations comprises entre $1,50^{E-04}$ S.I. et $3,53^{E-04}$ S.I..

L'unité 8 correspond à nouveau à un milieu calme caractérisé par une sédimentation par décantation, liée probablement à la déconnexion du chenal.

L'unité 9, de 135 cm d'épaisseur (-1,35 m à la surface topographique) correspond à un faciès Fr, avec un grain moyen qui oscille entre 10 et 50 microns. Les limons sont majoritaires avec une moyenne de 76,2%, contre 17,8% sable et 6,3% argiles. L'indice de tri varie de 1,7 à 2,0 ce qui indique des sédiments peu triés. L'indice d'asymétrie à des valeurs comprise entre -0,08 et 0,26 indiquant des échantillons presque symétriques et asymétriques vers les fins. Les valeurs les plus élevées de la carotte pour la matière organique sont enregistrées dans cette unité avec des variations situées entre 2% et 12%. Par contre les carbonates ont les valeurs minimales de la carotte, comprises entre 0% et 6%. Ce niveau est caractérisé par un mélange des sols (brun-noir, brun, gris) avec des restes végétaux et de rares coquilles. La susceptibilité magnétique, avec une moyenne à $1,44^{E-04}$ S.I. présente de très grandes variations, avec des valeurs comprises entre $9,27^{E-06}$ S.I. et $7,16^{E-04}$ S.I..

L'unité 9 est bouleversée par l'aménagement du polder agricole de Pardina. Les sédiments plus grossiers, les limons sableux et les sables limoneux proviennent des zonés adjacentes, suite aux travaux importants de nivèlement. Il s'agit donc d'une unité anthropique.

7.2.5 Identification des espèces de coquilles carotte ParCan

A l'exception des espèces d'eau douce situées dans l'unité 3 à la profondeur de -7,61m (*Lithoglyphus naticoides*) et dans l'unité 9 à -1,31m et -1,33m (*Viviparus sp.* et *Planorbarius sp.*), le reste de la carotte est dominé par un mélange d'espèces marines (*Cardium Edule* et

Mytilus) et d'espèces qui préfèrent les eaux saumâtres (*Abra ovata*, *Hypanis sp.* et *Hydrobia sp.*).

| | | 131-133 | 366 | 377-378 | 565 | 614 | 625 | 636 | 659 | 686 | 761 | 972 |
|--|--------------------------------|---------|-----|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Espèces marines | <i>Cardium edule</i> | | | | 3 | | 3 | 1 | | | | |
| | <i>Mytilus</i> | | | 1 | | | | | | | | 1 |
| Espèces qui préfèrent les eaux saumâtres | <i>Abra ovata</i> | | | | | | 1 | | | | | |
| | <i>Hypania sp.</i> | | 1 | 1 | | 2 | | | 1 | 1 | | |
| | <i>Hydrobia sp.</i> | 14 | | | | | | | | | | 1 |
| Espèces d'eau douce | <i>Lithoglyphus naticoides</i> | | | | | | | | | | 2 | |
| | <i>Viviparus sp.</i> | | 1 | | | | | | | | | |
| | <i>Planorbarius sp.</i> | | 1 | | | | | | | | | |

Tableau 7.4 Espèces des coquilles – carotte ParCan

7.2.6 Datations

5 échantillons de la carotte ParCan ont été datés, le matériel utilisé pour toutes les datations étant le sédiment organique.

| Nom | Age 14C | Matériel | Calibration 1 | Calibration 2 |
|---------------|-------------|--------------------|---------------|---------------|
| ParCan(1,33) | 610±30 BP | Sédiment organique | 1302/1396 | 1295/1404 |
| ParCan (3,60) | 9 080±50 BP | Sédiment organique | -8 311/-8 248 | -8 436/-8 228 |
| ParCan (5,60) | 5 800±40 BP | Sédiment organique | -4 711/-4 606 | -4 767/-4 544 |
| ParCan (8,75) | 8 110±50 BP | Sédiment organique | -7 168/-7 049 | -7 308/-6 846 |
| ParCan(9.66) | 8 520±30 BP | Sédiment organique | -7 585/-7 550 | -7 592/-7 533 |

Tableau 7.5 Datations carotte ParCan

La chronologie de la carotte ParCan repose sur 5 datations 14C. À l'exception de la datation ParCan-360, située dans l'unité 5, le modèle d'âge obtenu paraît cohérent. La base pré-lacustre de la séquence est antérieure à la date de -7 592/-7 533 cal BP, soit ca. 5 600 AEC, qui a été obtenue sur la base du remplissage lacustre. La vitesse de sédimentation semble relativement constante jusque vers 560 cm. Durant la mise en place de l'unité 4, la vitesse de sédimentation semble se réduire. Cette unité se mettrait en place après 4 700 BP (ca. 2 700-2 500 AEC). La dernière phase de réactivation du chenal semble coïncider avec la période historique (XIV^{ème} siècle) et pourrait être associée à la péjoration climatique du Petit Âge Glaciaire.

7.3 Carotte Stipoc

7.3.1 Localisation

La carotte Stipoc a été extraite en bordure de la dépression de Pardina, à l'extrémité sud de notre transect, sur la ride Stipoc (Fig.7.8). Elle est située dans un secteur encore relativement bas, l'altitude du sommet de la carotte se tenant vers 0,71 m bsl, soit près d'un mètre au-dessus du fond de la dépression. Une ferme piscicole a été créée sur cette ride dans

les années 1960, à l'est de l'emplacement du carottage, mais la zone choisie pour notre carottage n'a pas fait l'objet de transformations majeures. On note la pratique du pâturage sur ces lieux, avec des ovins et bovins, pratique qui est ancestrale. Ces lieux font partie de la zone de transhumance en Roumanie, avec les troupeaux qui descendent des Carpates pour la période hivernale.

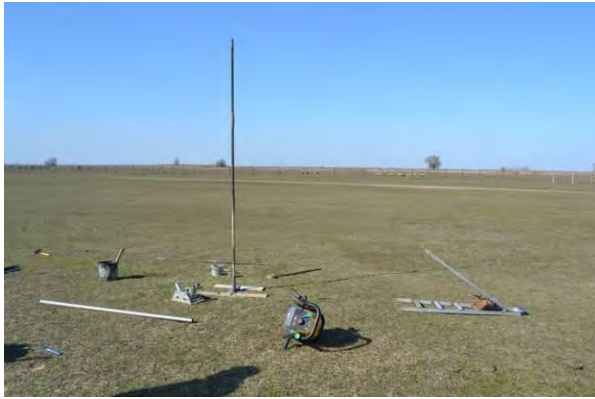


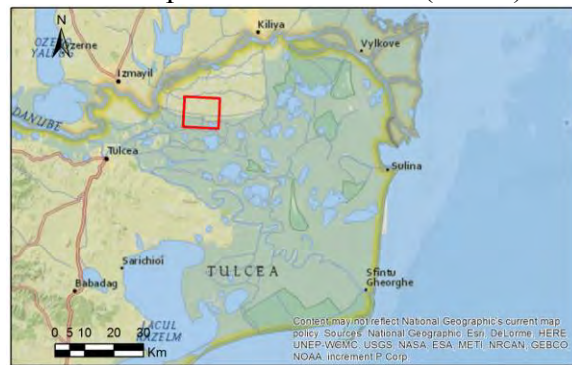
Photo site carottage



Carte topo DTM 1 : 25 000 (ICEM)



Image ortho-photo 2011 (MNIR)



Localisation terrain (ArcGis)

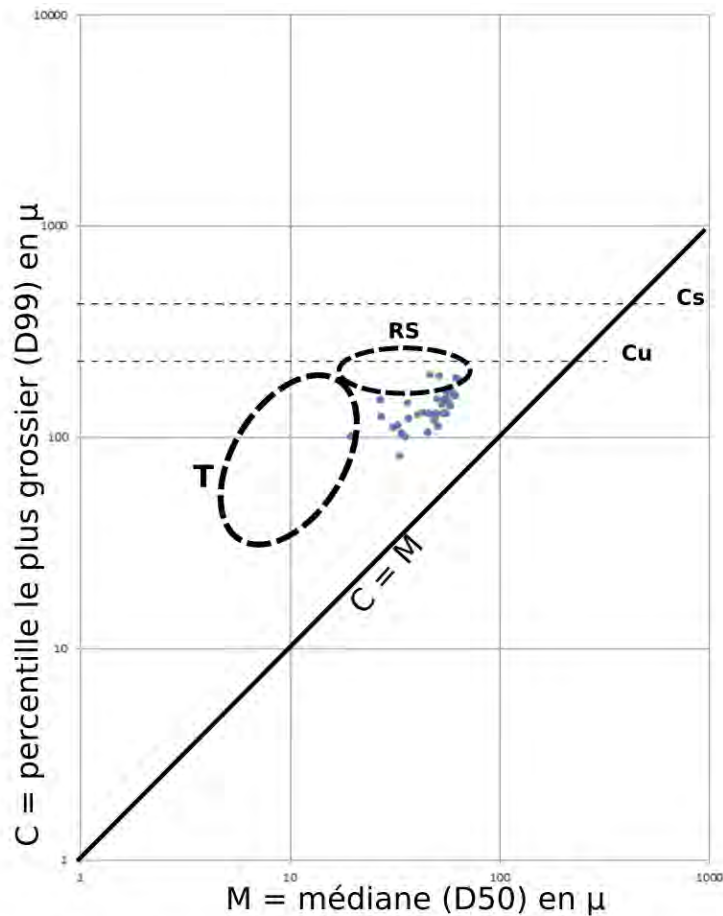
Fig.7.8 Localisation de la carotte Stipoc

7.3.2 Description

36 échantillons ont été prélevés directement sur le terrain pour les analyses, ce qui donne en moyenne un pas d'échantillonnage de 19,5 cm, soit environ 5 échantillons par mètre. Des analyses de granulométrie et des pertes au feu ont été réalisées. Aucune datation n'a été réalisée et la chronologie de la construction de cette ride reste incertaine.

7.3.3 Image CM

Les résultats des analyses granulométriques ont été projetés sur le diagramme CM de Passega, mais les résultats ne correspondent pas aux segments universellement identifiés pour un fonctionnement fluvial. Dans sa thèse, Arnaud-Fassetta (1998) propose une complexification du serment RS et ajoute un segment R'S' supérieur et R''S'' inférieur (notre cas), qu'il interprète comme traduisant différents régimes du fleuve. Ces segments peuvent être vus comme des mélanges de suspension uniforme et de suspension graduée. Bravard (Bravard et al., 2009) nous propose une autre interprétation pour les échantillons qui sont situés dans cette zone. Il considère qu'il s'agit des dépôts en vrac dans des bras secondaires.



- Cs** - la taille maximale des particules transportées par suspension graduée
- Cs** - la taille maximale des particules transportées par suspension uniforme
- T** - suspension pélagique
- RS** - suspension uniforme

Fig.7.9 Diagramme C/M Stipoc

7.3.4 Analyse et interprétation de la carotte Stipoc

La séquence Stipoc s'organise en plusieurs unités (Fig.7.10) :

L'unité 1, de 110 cm d'épaisseur (-7,00 m à -5,90 m sous la surface topographique), a un grain moyen qui oscille autour de 35 microns. Les limons sont majoritaires avec une moyenne de 83,3%, contre 12,2% sables et 4,5% argiles. L'indice de tri varie de 1,14 à 1,32 ce qui indique des sédiments peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs comprises entre 0,45 et 0,51 indiquant des échantillons très asymétriques vers les fins. La matière organique a des valeurs de moins 1%, et les carbonates ont les valeurs comprises entre 6% et 8%. Cette unité contient de très rares coquilles.

L'unité 2, de 115 cm d'épaisseur (-5,90 m à -4,75 m sous la surface topographique), a un grain moyen compris entre 40 et 50 microns. Les limons sont toujours majoritaires avec une moyenne de 66,6%, on constate l'augmentation des sables, par rapport à l'unité 1, avec

une moyenne de 30,7%, les argiles représentant seulement 2,7%. L'indice de tri varie de 1,07 à 1,29 ce qui indique des sédiments peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs comprises entre 0,41 et 0,48 indiquant des échantillons très asymétriques vers les fins. La matière organique a des valeurs de moins 1% et les carbonates ont des valeurs stables, comprises entre 4% et 4,5%.

L'unité 3, de 99 cm d'épaisseur (-4,75 m à -3,76 m sous la surface topographique), a un grain moyen compris entre 50 et 65 microns. Les sables sont majoritaires dans cette unité avec une moyenne de 55,7%, contre 41,6% limons et 2,7% argiles. L'indice de tri varie de 1,00 à 2,00 ce qui indique des sédiments peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs comprises entre 0,33 et 0,55 indiquant des échantillons très asymétriques vers les fins. La matière organique a des valeurs de moins 1%, et les carbonates ont des valeurs comprises entre 4% à 8%, avec une tendance à la hausse vers la partie supérieure de l'unité.

L'unité 4, de 226 cm d'épaisseur (-3,76 m à -1,50 m sous la surface topographique), a un grain moyen compris entre 35 et 65 microns. Les limons sont majoritaires avec une moyenne de 50,9%, contre 46,2% sables et 2,9% argiles. L'indice de tri présente des oscillations importantes qui varient de 0,09 à 2,00 ce qui indique des sédiments assez peu triés à peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs comprises entre 0,32 et 0,60 indiquant des échantillons très asymétriques vers les fins. La matière organique a des valeurs de moins de 1%, et les carbonates varient beaucoup avec des valeurs comprises entre 4% à 11%. On remarque la présence de fragments de coquilles.

L'unité 5, de 71 cm d'épaisseur (-1,50 m à -0,79 m sous la surface topographique), a un grain moyen compris entre 30 et 45 microns. Les limons sont majoritaires avec une moyenne de 65,0%, contre 28,7% sables et 6,3% argiles. L'indice de tri présente des oscillations importantes qui varient de 1,5 à 2,00 ce qui indique des sédiments peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs comprises autour de 0,56 indiquant des échantillons très asymétriques vers les fins. La matière organique a des valeurs de moins 1%, et les carbonates avec des valeurs comprises entre 7% à 9% ont une tendance à la hausse vers la partie supérieure de l'unité. On remarque la présence de rares coquilles et fragments des coquilles.

L'unité 6, de 79 cm d'épaisseur (-0,79 m à la surface topographique), a un grain moyen compris entre 20 et 35 microns. Les limons sont majoritaires avec une moyenne de 72,2%, contre 21,2% sables et 6,6% argiles. L'indice de tri présente des oscillations importantes qui varient de 1,5 à 2,00, ce qui indique des sédiments peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs comprises autour de 0,56 indiquant des échantillons très asymétriques vers les fins. La valeur maximale pour la matière organique de la carotte est enregistrée dans cette unité, avec une tendance à la baisse vers la partie inférieure du niveau et des valeurs de 2% à 1%. Les carbonates présentent des petites variations, sans avoir des valeurs trop élevées, avec une tendance générale à la hausse vers la profondeur et des valeurs comprises entre 6% à 10%. On remarque la présence de restes végétaux, racines et coquilles.

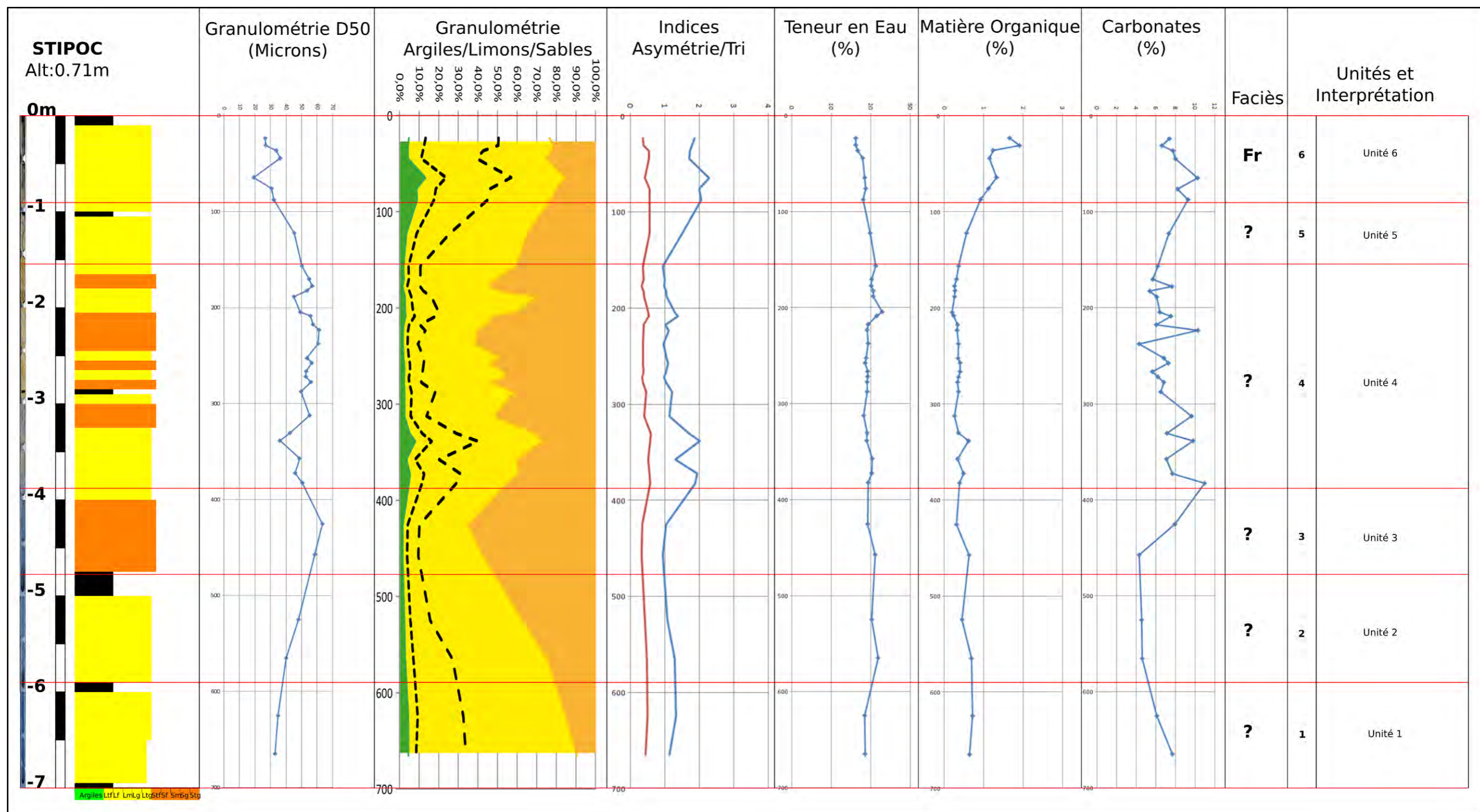


Fig.7.10 Résultats des analyses et interprétation de la carotte Stipoc

7.3.5 Identification des espèces de coquilles carotte Stipoc

| | | 176-179 | 300 | 637 |
|--|----------------------|---------|-----|-----|
| Especies marines | <i>Cardium edule</i> | | | 1 |
| | <i>Mytilus</i> | | 1 | |
| Especies qui preferent les eaux saumâtres | <i>Hypania sp.</i> | | 2 | |
| Especies d'eau douce | <i>Viviparus sp.</i> | 1 | | |

Tableau 7.6 Espèces des coquilles – carotte Stipoc

Le peu de coquillages identifiés dans cette carotte nous indiquent une évolution avec des espèces d'eaux marines à la base, dans l'unité 1 (*Cardium edule* ; -6,37 m), vers un milieu avec des eaux saumâtres pour l'unité 4, vers -3,00 m (*Hypanis sp.*), mais qui contient encore des espèces marines (*Cardium edule*), et avec des espèces d'eau douce vers la surface (*Dreissena sp.* ; -1,76 m, -1,79 m), toujours dans l'unité 4.

Conclusion du chapitre 7

Trois sites ont été sondés dans la région totalement transformée de Pardina : ParLac, ParCan et Stipoc. Les sondages effectués sur le site ParLac ciblaient l'ancien Lac Tigaiu Mare, le sondage ParLac un petit distributaire et le sondage Stipoc la Ride Stipoc.

La séquence ParLac02 correspond à un ensemble de faciès pro-deltaïques, marqués par l'alternance entre des phases d'apports réduits, dominés par les limons, les limons moyens et les sables fins, et des phases plus détritiques. Globalement, la séquence est grano-croissante, attestant une progradation active des chenaux distributaires. Dans la partie supérieure de la carotte le mélange des sédiments avec des granulométries différentes est le résultat de la transformation de la région un polder agricole.

La carotte ParCan offre plusieurs changements de fonctionnements hydro-sédimentaires. A la base nous retrouvons le fonctionnement d'un distributaire énergétique, capable de transporter et déposer des sédiments de taille importante. Ensuite nous avons un changement total avec l'installation d'un milieu très calme, lacustre, caractérisé par le dépôt de sédiments fins en suspension. Cet épisode calme est perturbé par l'apparition, à deux reprises, de sédiments plus grossiers, dans un environnement pro-deltaïque. La séquence est marquée ensuite par l'installation d'un petit distributaire, situé loin des chenaux principaux, avec une charge sédimentaire modeste et une taille des particules très réduite, qui évolue, suite à sa déconnexion, vers un milieu de dépôt par décantation. La partie supérieure de la carotte est bouleversée par l'aménagement du polder agricole.

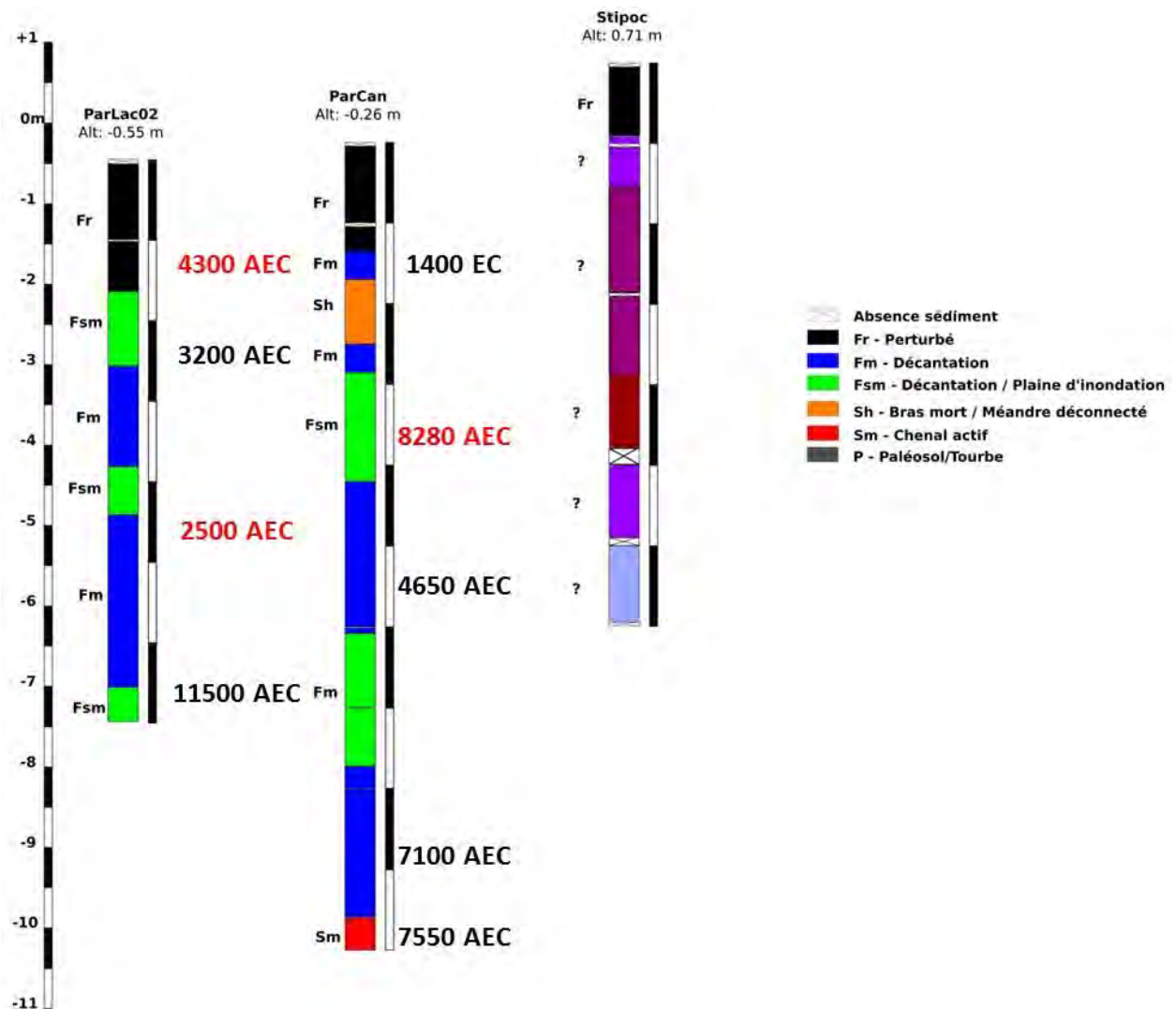


Fig.7.11 Logs des carottes dans la région Pardina

À la différence des carottes précédentes, la carotte Stipoc présente une séquence dominée par les sables. L'origine des sédiments de la carotte Stipoc ne semble pas être d'origine fluviale. La projection des résultats des mesures de granulométrie sur le diagramme C/M de Passega ne correspond à aucun segment d'un fonctionnement classique fluvial. La présence des espèces de coquilles d'eaux marines à la base (-6,37 m), et d'espèces marines mélangées avec des espèces d'eaux saumâtres dans la partie médiane de la carotte (-3,00 m) nous fait pencher vers une origine marine de cette forme, hypothèse proposée d'ailleurs par différents auteurs qui ont formulé des théories sur la formation du delta du Danube (voir chapitre 4). Les données granulométriques ne permettent pas de trancher sur l'origine de la ride. La composition limono-sableuse à sableuse est toutefois compatible avec une origine éolienne de la formation.

Chapitre 8

Les environs du vieux Canal Sontea

Fortuna est un des grands lacs de la partie fluviale du delta du Danube et Sontea un vieux canal du delta, qui, dans le passé, avant la stabilisation du Bras Chilia au nord de la région de Pardina, avait un rôle plus important dans la distribution des eaux dans le delta. Quatre carottes ont été prélevées dans cette région, deux sur les berges du Canal Sontea (Sontea01 et Tara14) et deux sur des méandres abandonnés du même canal (Sontea02 et Tara24) (Fig.8.1).



Fig.8.1 Région Fortuna-Sontea
Source fond de carte : 1-MNIR ; 2-ArcGis

L'objectif du prélèvement des séquences Sontea01 et Sontea02 était de compléter le transect entre la rive de Stipoc et le site archéologique de Taraschina (Fig.8.2), suivant un tracé approximativement nord-sud (Fig.8.1).

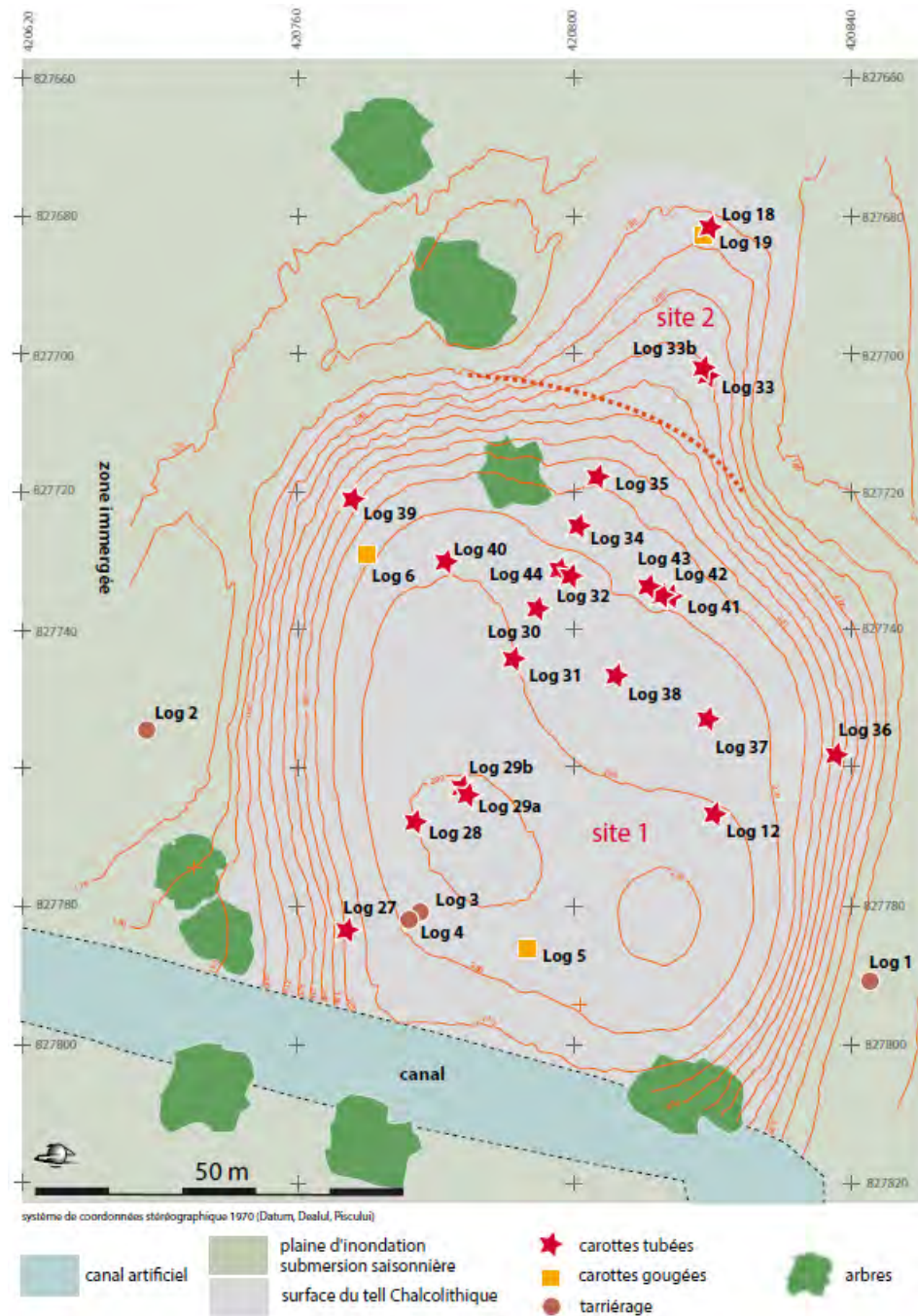


Fig.8.2 Localisation des carottages réalisés à proximité du site archéologique de Taraschina

Source : Carozza & Micu, 2017

8.1 Carotte Sontea01

8.1.1 Localisation

La carotte Sontea01 a été prélevée au nord du grand Lac Fortuna, sur la rive gauche du Canal Sontea (Fig.8.3), un vieux canal du delta, qui reste encore aujourd'hui un des canaux importants pour la navigation. Elle mesure 9 m de longueur et a rencontré le *substratum* pré-deltaïque à 8.20 m. Son point de départ est situé à une altitude de 0,95 m bsl. Le carottage a été effectué avec une gouge ouverte et des échantillons ont été prélevés sur place.



a. Photo site carottage (C. Mihail)



b. Carte topo DTM 1 : 25 000 (ICEM)



c. Image ortho-photo 2011 (MNIR)



d. Localisation terrain (ArcGis)

Fig.8.3 Localisation de la carotte Sontea01

8.1.2 Description

62 échantillons ont été prélevés directement sur le terrain pour les analyses, ce qui donne en moyenne un pas d'échantillonnage de 14,5 cm, soit environ 7 échantillons par mètre. Des analyses de granulométrie et des pertes au feu ont été réalisées (Fig.8.5). Aucune datation radiocarbone n'a été réalisée sur cette séquence.

8.1.3 Image CM

La projection des individus sur l'image CM révèle des échantillons appartenant aux deux segments classiques (Fig.8.4) : dépôts de suspension uniforme - segment RS et dépôts de suspension de type pélagique-segment T. On note également des échantillons qui appartiennent au substratum représenté par le loess - L, ainsi que des échantillons interprétés comme des dépôts mélangés - M.

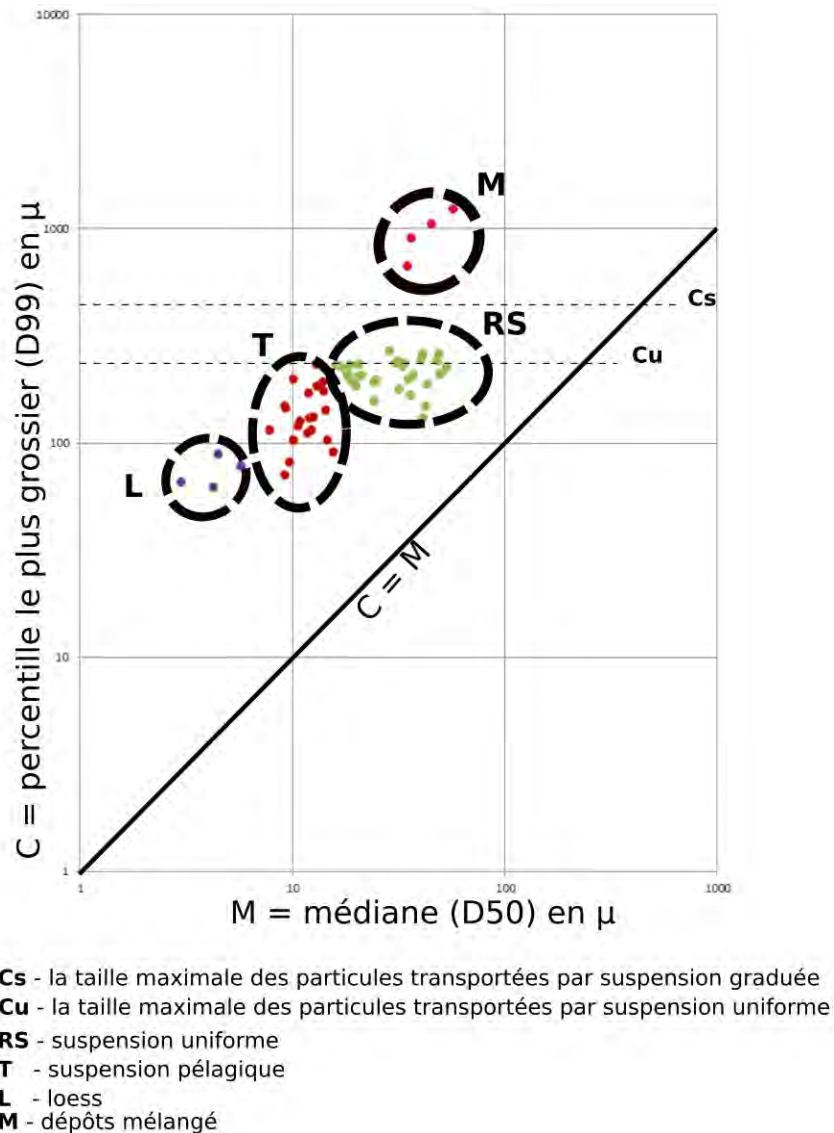


Fig.8.4 Diagramme C/M Sontea01

8.1.4 Analyse et interprétation de la carotte Sontea01

La séquence Sontea01 montre la succession suivante :

L'unité 1, de 82 cm d'épaisseur, (-9,00 m à -8,18 m sous la surface topographique), d'une teinte brun-jaune correspond au *substratum* représenté par des loess, avec un grain moyen qui est situé autour de la valeur de 4,5 microns. Les limons dominent ce niveau avec une moyenne de 66,1%, pour 31% argiles et 2,9 sables. L'indice de tri, qui varie très peu, est

situé entre 2,7 et 3, ce qui indique des sédiments très peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs entre 0,17 à 0,24, indiquant des échantillons asymétriques vers les fins. La matière organique a des valeurs assez stables, situées entre 1,5% et 2%. Les carbonates présentent des variations plus importantes avec des valeurs comprises entre 5% et 14% avec une tendance à la baisse vers la partie supérieure de l'unité.

L'unité 1 correspond au loess, l'élément considéré comme le socle du delta du Danube.

L'unité 2, de 52 cm d'épaisseur, (-8,18 m à -7,66 m sous la surface topographique), correspond à un faciès Fm, avec un grain moyen situé autour de 11 microns. Les limons dominent ce niveau avec une moyenne de 77,9%, pour 14,6% argiles et 7,5% sables. L'indice de tri, qui varie peu, est situé entre 2,1 et 2,3 ce qui indique des sédiments très peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs entre 0,21 et 0,28 indiquant des échantillons asymétriques vers les fins. La matière organique a des valeurs assez stables, situées entre 1,5% et 2%. Les carbonates présentent aussi des valeurs stables, situées autour de 8%.

L'unité 2 a été interprétée comme un milieu submergé, très calme, caractérisé par une sédimentation par décantation.

L'unité 3, de 94 cm d'épaisseur, (-7,66 m à -6,72 m sous la surface topographique), correspond à un faciès Fl, avec un grain moyen situé autour de 51 microns. Les limons sont majoritaires de peu à ce niveau avec une moyenne de 47,6%, pour 45,3% sables et 6,8% argiles. L'indice de tri est situé entre 1,9 et 2,3 ce qui indique des sédiments peu triés et très peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs entre 0,51 à 0,61 indiquant des échantillons très asymétriques vers les fins. La matière organique, en baisse par rapport à l'unité précédente, a des valeurs situées entre 0,5% et 1%, tandis que les carbonates présentent les valeurs plus élevées, comprises entre 10% et 14%. On note la présence de rares coquilles et fragments de coquilles.

L'unité 3 a été interprétée comme un milieu d'une plaine inondable, voir une levée de berge, à proximité d'un distributaire très actif.

L'unité 4, de 285 cm d'épaisseur, (-6,72 m à -3,87 m sous la surface topographique) correspond à un faciès Fsm, avec un grain moyen qui oscille autour de 30 microns. Les limons dominent cette unité, avec une moyenne de 66,8%, contre 25,8% pour les sables et 7,4% argiles. Deux sous-unités ont été distinguées vu la proportion des limons et sables et la teneur en matière organique et carbonates. La sous-unité 4a, de 127 cm d'épaisseur, (-6,72 m à -5,45 m sous la surface topographique), a un grain moyen qui oscille autour de 36 microns. Les limons dominent cette unité, avec une moyenne de 59,4%, contre 32,2% pour les sables et 8,4% argiles. L'indice de tri est situé entre 1,5 et 2,9 ce qui indique des sédiments peu triés et très peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs entre 0,01 à 0,60 indiquant des échantillons presque symétriques à très asymétriques vers les fins. La matière organique a des valeurs assez basses et stables, situées entre 0,5% et 1%, tandis que les carbonates présentent des variations très importantes avec des valeurs comprises entre 8% et 54%, la valeur maximale pour la carotte. On note la présence des coquilles et des fragments de coquilles dans les horizons caractérisés par les pics des carbonates.

La sous-unité 4b, de 158 cm d'épaisseur, (-5,45 m à -3,87 m sous la surface topographique), présente un grain moyen qui oscille autour de 23 microns. Les limons dominent cette unité, avec une moyenne de 74,2%, contre 19,4% pour les sables et 6,3% argiles. L'indice de tri est situé entre 1,6 et 2,2 ce qui indique des sédiments peu triés et très peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs entre 0,10 à 0,45 indiquant des échantillons asymétriques vers les fins à très asymétriques vers les fins. La matière organique, en hausse par rapport à la sous-unité 4a, a des valeurs situées entre 1% et 4%, le maximum de la carotte. Les carbonates présentent des valeurs moins élevées que dans la sous-unité précédente, comprises entre 4% et 12%.

L'unité 4 a été interprétée comme un milieu d'une plaine inondable à proximité d'un distributaire.

L'unité 5, de 70 cm d'épaisseur, (-3,87 m à -3,17 m sous la surface topographique) correspond à un faciès Fm, avec un grain moyen situé autour de 11 microns. Les limons dominent ce niveau avec une moyenne de 89,3%, pour 6,7% argiles et 4% sables. L'indice de tri, qui varie peu, est situé entre 1,4 et 1,6 ce qui indique des sédiments peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs entre 0,11 et 0,19 indiquant des échantillons asymétriques vers les fins. La matière organique a des valeurs assez stables situées autour de 2%, avec une légère tendance à la baisse vers la partie supérieure de l'unité. Les carbonates présentent aussi des valeurs stables situées entre 10% et 12%.

L'unité 5 a été interprétée comme un milieu submergé, très calme, caractérisé par une sédimentation par décantation.

L'unité 6, de 189 cm d'épaisseur, (-3,17 m à -1,28 m sous la surface topographique), correspond à un faciès Fsm, avec un grain moyen qui oscille autour de 26 microns. Les limons dominent cette unité, avec une moyenne de 70,1%, contre 26,5% pour les sables et 3,4% argiles. L'indice de tri est situé entre 1,7 et 2 ce qui indique des sédiments peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs entre -0,03 à 0,41 indiquant des échantillons presque symétriques à très asymétriques vers les fins. La matière organique présente des variations entre 0,5% et 1,5%. Les carbonates présentent des valeurs assez stables, situées en général entre 8% et 12% avec un seul pic à 20%, localisé dans la moitié inférieure de l'unité. On note la présence de coquilles et fragments de coquilles.

L'unité 6 correspond à un milieu d'une plaine inondable à proximité d'un distributaire.

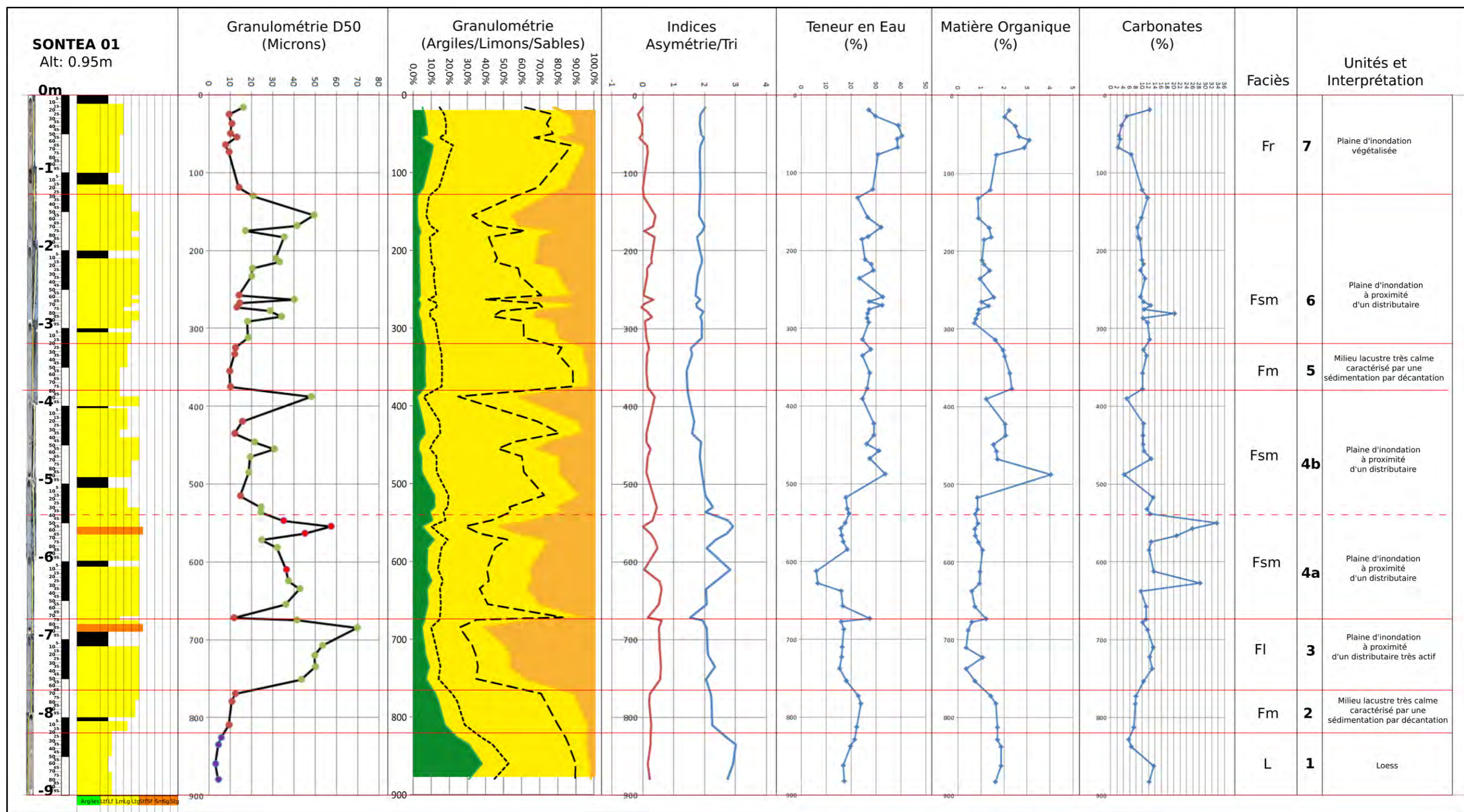


Fig.8.5 Résultats des analyses et interprétation de la carotte Sontea01

L'unité 7, de 128 cm d'épaisseur, (-1,28 m à la surface topographique) correspond à un faciès Fr, avec un grain moyen situé autour de 11 microns. Les limons dominent ce niveau avec une moyenne de 79,9%, pour 12,8% sables et 7,3% argiles. L'indice de tri, est situé entre 1,8 et 2 ce qui indique des sédiments peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs entre -0,15 à 0,16 indiquant des échantillons asymétriques vers les grossiers et vers les fins. La matière organique a des variations comprises entre 1% et 3%. Les carbonates présentent des fluctuations plus importantes, situées entre 2% et 12%. On note la présence de restes végétaux et de coquilles entières et fragmentées. L'unité 7 correspond à une plaine d'inondation végétalisée.

8.1.5 Identification des espèces de coquilles

| | | 268-276 | 278-284 | 285-289 | 435-440 | 455-460 | 465-470 | 582-587 | 630-635 | 635-640 | 685-690 | 720-725 | 735-740 | 760 |
|---|--------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----|
| Especies marines | <i>Mytilus</i> | | 1 | | | | | | | | | | | |
| Especies qui preferent les eaux saumâtres | <i>Hypania sp.</i> | | 1 | | | | | | | | | | | |
| | <i>Hydrobia sp.</i> | | 1 | | | | | | | | | | | |
| Especies d'eau douce | <i>Lithoglyphus naticoides</i> | | | | | | 1 | | 1 | | | | | |
| | <i>Viviparus sp.</i> | | | 2 | | 1 | | 1 | | 1 | | | | |
| | <i>Unio sp.</i> | 2 | | | | 1 | | | | | | | | 1 |
| | <i>Esperiana esperi</i> | | | | 1 | | 1 | | | | | | | |
| | <i>Bythynia tentaculata</i> | | | | | | 2 | | 1 | | 1 | 1 | 1 | |

Tableau 8.1 Espèces des coquilles – carotte Sontea01

La majorité des espèces des coquilles identifiées sont des espèces d'eau douce (*Lithoglyphus naticoides*, *Viviparus sp.*, *Unio sp.*, *Esperiana esperi* et *Bythynia tentaculata*), situées dans les unités 3, 4 et 6. On remarque également la présence dans l'unité 6 à la profondeur de -2,78 à -2,84 d'une espèce marine (*Mytilus*) et de deux espèces qui préfèrent les eaux saumâtres (*Hypanis sp.*, *Hydrobia sp.*).

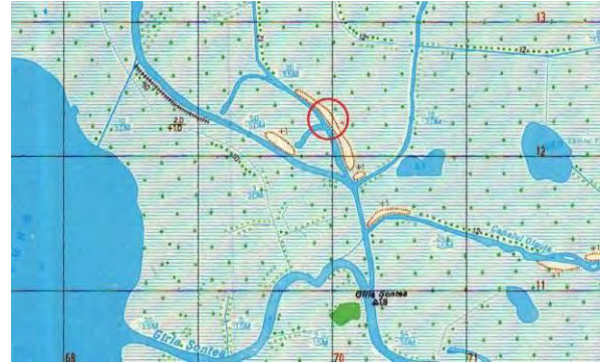
8.2 Carotte Sontea02

8.2.1 Localisation

La carotte Sontea02 a été prélevée à l'est du grand Lac Fortuna, sur la rive gauche de l'ancien cours du Canal Sontea (Fig.8.5). Elle mesure 10 m de longueur sans rencontrer le *substratum* pré-deltaïque. Son point de départ est situé à une altitude de 1,75 mètres. Le carottage a été effectué sur une plateforme utilisée pour le stockage du roseau pendant la période communiste, avec une gouge ouverte, et des échantillons ont été prélevés sur place.



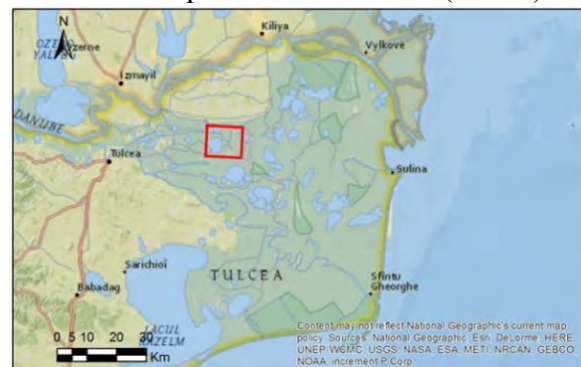
a. Photo site carottage



b. Carte topo DTM 1 : 25 000 (ICEM)



c. Image ortho-photo 2011 (MNIR)



d. Localisation terrain (ArcGis)

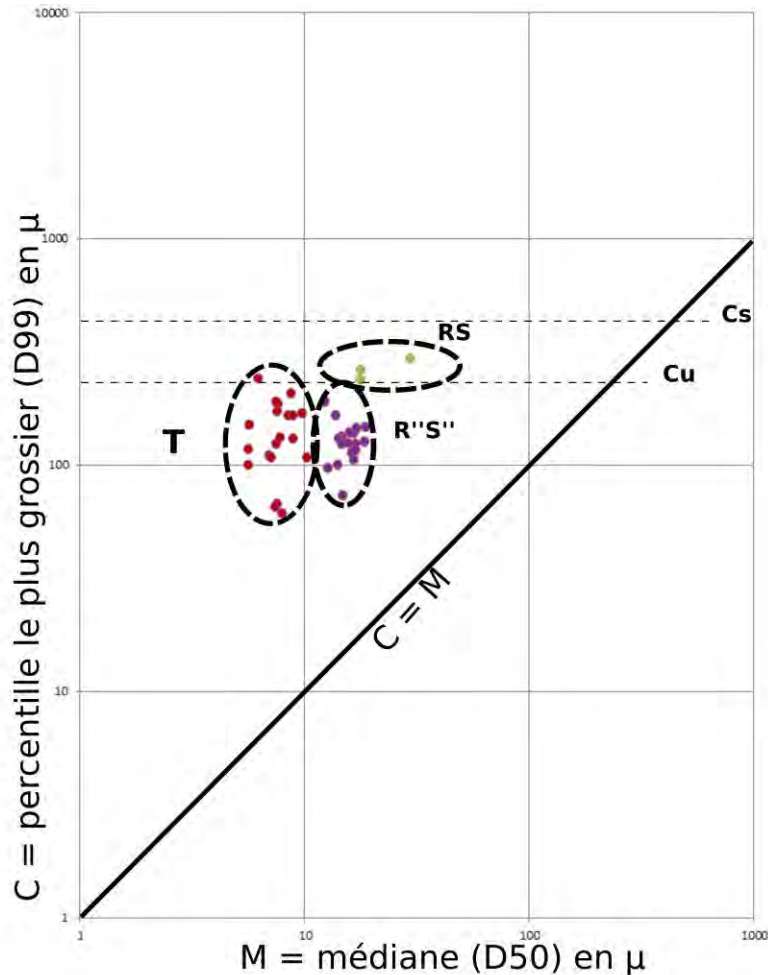
Fig.8.6 Localisation de la carotte Sontea02

8.2.2 Description

42 échantillons ont été prélevés directement sur le terrain pour les analyses, ce qui donne en moyenne un pas d'échantillonnage de 23,8 cm, soit environ 4 échantillons par mètre. Des analyses de granulométrie et des pertes au feu ont été réalisées (Fig.8.8). Aucune datation radiocarbone n'a été réalisée sur cette séquence.

8.2.3 Image CM

La projection des individus sur l'image CM révèle trois segments (Fig.8.7) : dépôts de suspension uniforme en mode énergétique –segment RS ; les dépôts de suspension de type pélagiques – segment T ; dépôts de suspension uniforme en mode calme – segment R''S''.



- Cs** - la taille maximale des particules transportées par suspension graduée
- Cu** - la taille maximale des particules transportées par suspension uniforme
- T** - suspension pélagique
- RS** - suspension uniforme
- R''S''** - suspension uniforme en mode calme

Fig.8.7 Diagramme C/M Sontea02

8.2.4 Analyse et interprétation de la carotte Sontea02

La séquence Sontea02 montre la succession suivante :

L'unité 1, de 130 cm d'épaisseur, (-10 m à -8,70 m sous la surface topographique) correspond à un faciès Fm, avec un grain moyen situé autour de 6,5 microns. Les limons dominent ce niveau avec une moyenne de 69,1%, pour 23% argiles et 7,9% sables. L'indice de tri, qui varie peu, est situé entre 2,5 et 3 ce qui indique des sédiments très peu triés.

L'indice d'asymétrie a des valeurs entre 0,17 à 0,24 indiquant des échantillons asymétriques vers les fins. La matière organique a des valeurs assez stables et basses pour la carotte, situées entre 1% et 2%, tandis que les carbonates présentent les valeurs les plus élevées de la carotte, comprises entre 10% et 14%, avec une seule exception à environ 7%.

L'unité 1 correspond à un milieu lacustre très calme caractérisé par une sédimentation par décantation.

L'unité 2, de 484 cm d'épaisseur, (-8,70 m à -3,85 m sous la surface topographique) correspond à un faciès Fsm, avec un grain moyen qui oscille entre 10 et 18 microns. Les limons dominent cette unité, avec une moyenne de 81,1%, contre 9,6% pour les sables et 9,3% argiles. Deux sous-unités ont été distinguées compte tenu de la proportion des sables, des argiles et de carbonates.

La sous-unité 2a, de 205 cm d'épaisseur, (-8,70 m à -6,65 m sous la surface topographique) correspond à un faciès Fsm, avec un grain moyen situé autour de 15 microns. Les limons dominent ce niveau avec une moyenne de 76,5%, pour 13,1% argiles et 10,4% sables. L'indice de tri, qui varie peu, est situé entre 1,8 et 2,3 ce qui indique des sédiments peu triés et très peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs entre 0,21 à 0,38 indiquant des échantillons asymétriques vers les fins et très asymétriques vers les fins. La matière organique a des valeurs assez stables et basses pour la carotte, situées entre 1% et 2%, tandis que les carbonates présentent des variations, avec des valeurs assez élevées, comprises entre 6% et 10%. La sous-unité 2a a été interprétée comme mise en place d'une plaine d'inondation.

La sous-unité 2b, de 280 cm d'épaisseur, (-6,65 m à -3,85 m sous la surface topographique) correspond à un faciès Fsm, avec un grain moyen situé autour de 16 microns. Les limons dominent ce niveau avec une moyenne de 84%, pour 9% sables et 7% argiles. L'indice de tri, qui varie peu, est situé entre 1,5 et 2 ce qui indique des sédiments peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs entre 0,19 à 0,30 indiquant des échantillons asymétriques vers les fins. La matière organique a des valeurs assez stables et basses pour la carotte, situées entre 1% et 2%, avec une légère augmentation dans la partie supérieure à plus de 2%. Les carbonates présentent des valeurs stables et beaucoup plus basses que dans la sous-unité 2a, comprises entre 1% et 3%. La sous-unité 2a a été interprétée comme milieu d'une plaine d'inondation.

L'unité 3, de 13 cm d'épaisseur, (-3,85 m à -3,72 m sous la surface topographique) correspond à un faciès P, avec un grain moyen situé autour de 14 microns. Les limons dominent ce niveau avec une moyenne de 85,7%, pour 9,4% sables et 4,9% argiles. L'indice de tri, qui varie peu, est situé entre 1,5 et 1,6 ce qui indique des sédiments peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs entre 0,10 à 0,12 indiquant des échantillons asymétriques vers les fins. La matière organique a les valeurs un peu plus élevées que dans l'unité précédente, situées entre 2% et 3%, tandis que les carbonates présentent les valeurs basses, à moins de 2%.

L'unité 3 a été interprétée comme un paléosol, témoignant une évolution subaérienne du site.

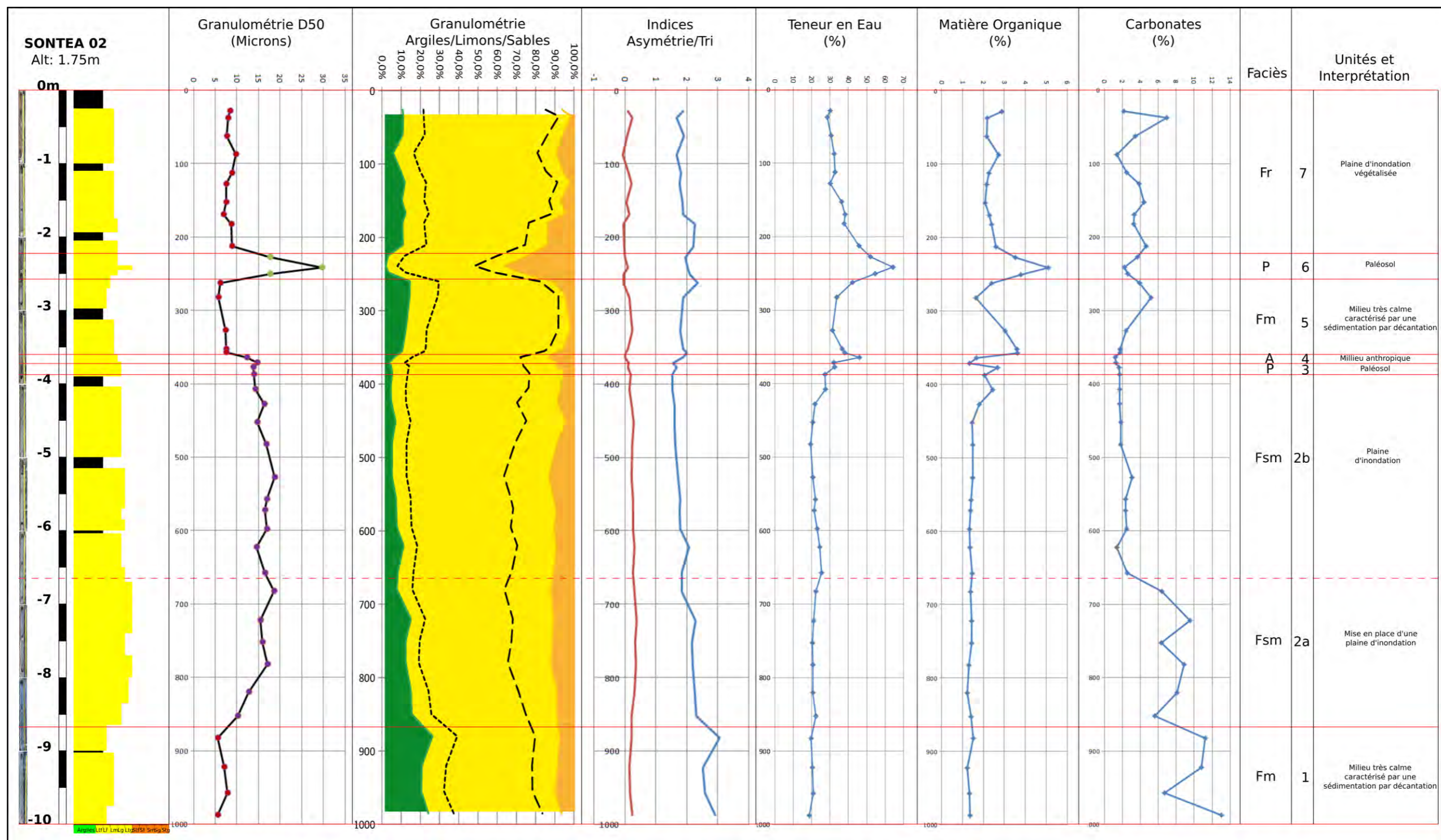


Fig.8.8 Résultats des analyses et interprétation de la carotte Sontea02

L'unité 4, de 10 cm d'épaisseur, (-3,72 m à -3,62 m sous la surface topographique) correspond à un niveau anthropique, avec un grain moyen situé autour de 14 microns. Les limons dominent ce niveau avec une moyenne de 84%, pour 10,9% sables et 5,1% argiles. L'indice de tri, qui varie peu, est situé autour de 1,8 ce qui indique des sédiments peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs autour de 0,00 indiquant des échantillons presque symétriques. La matière organique a les valeurs basses, situées autour de 1,52%, les carbonates présentent une légère baisse avec des valeurs autour de 1,5%.

L'unité 4 a été interprétée comme un milieu anthropique, avec des restes de torchis brûlé, témoignant d'une occupation humaine.

L'unité 5, de 109 cm d'épaisseur, (-3,62 m à -2,53 m sous la surface topographique) correspond à un faciès Fm, avec un grain moyen situé autour de 7 microns. Les limons dominent ce niveau avec une moyenne de 81,4%, pour 12,6% argiles et 6% sables. L'indice de tri, est situé entre 1,7 et 2,3 ce qui indique des sédiments peu triés et très peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs entre -0,05 à 0,24 indiquant des échantillons presque symétriques et asymétriques vers les fins. La matière organique a des variations importantes, avec des valeurs situées entre 1,5% et 3,5%, tandis que les carbonates présentent une légère hausse avec des valeurs entre 2% et 5%.

L'unité 5 provient d'un milieu très calme, caractérisé par une sédimentation par décantation.

L'unité 6, de 30 cm d'épaisseur, (-2,53 m à -2,23 m sous la surface topographique) correspond à un faciès P, avec un grain moyen situé autour de 22 microns. Les limons dominent ce niveau avec une moyenne de 68%, pour 29% sables et 3% argiles. L'indice de tri, qui varie peu, est situé entre 1,9 et 2,0 ce qui indique des sédiments peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs entre -0,04 à 0,09 indiquant des échantillons presque symétriques. La matière organique a les valeurs les plus élevées de la carotte, situées à plus de 3%, avec un pic à 5%, le maximum de la carotte. Les carbonates présentent des valeurs entre 2% et 4%. On note la présence de fragments végétaux et de rares coquilles.

L'unité 6 a été interprétée comme un paléosol avec une granulométrie plus importante, probablement due aux restes végétaux.

L'unité 7, de 223 cm d'épaisseur, (-2,23 m à la surface topographique) correspond à un faciès Fr, avec un grain moyen situé autour de 8 microns. Les limons dominent ce niveau avec une moyenne de 82,7%, pour 10,5% argiles et 6,8% sables. L'indice de tri, est situé entre 1,6 et 2,2 ce qui indique des sédiments peu triés et très peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs entre -0,06 à 0,24 indiquant des échantillons presque symétriques et asymétriques vers les fins. Les variations des valeurs de la matière organique sont peu importantes, comprises entre 2% et 3%, tandis que les carbonates présentent des fluctuations plus importantes, situées entre 2% et 7%, avec une hausse vers la partie supérieure de l'unité. On note la présence de restes végétaux et de coquilles fragmentées.

L'unité 7 a été interprétée comme une plaine d'inondation végétalisée.

8.3 Carotte Tara14

8.3.1 Localisation

La carotte Tara14 a été prélevée à environ 480 m à l'ouest du site archéologique de Taraschina, en bordure du canal de Sontea, en arrière de la levée de berge en partie artificielle et liée aux curages des canaux (Fig.8.9). Elle mesure 6 m de longueur et son point de départ est situé à une altitude de 1,26 m bsl. Le carottage a été réalisé avec une gouge fermée et la colonne sédimentaire a été transportée au laboratoire dans des tubes en plastique d'un mètre.



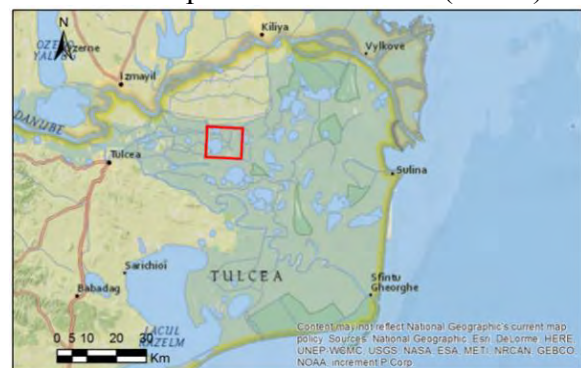
a. Photo site carottage (L. Carozza)



b. Carte topo DTM 1 : 25 000 (ICEM)



c. Image ortho-photo 2011 (MNIR)



d. Localisation terrain (ArcGis)

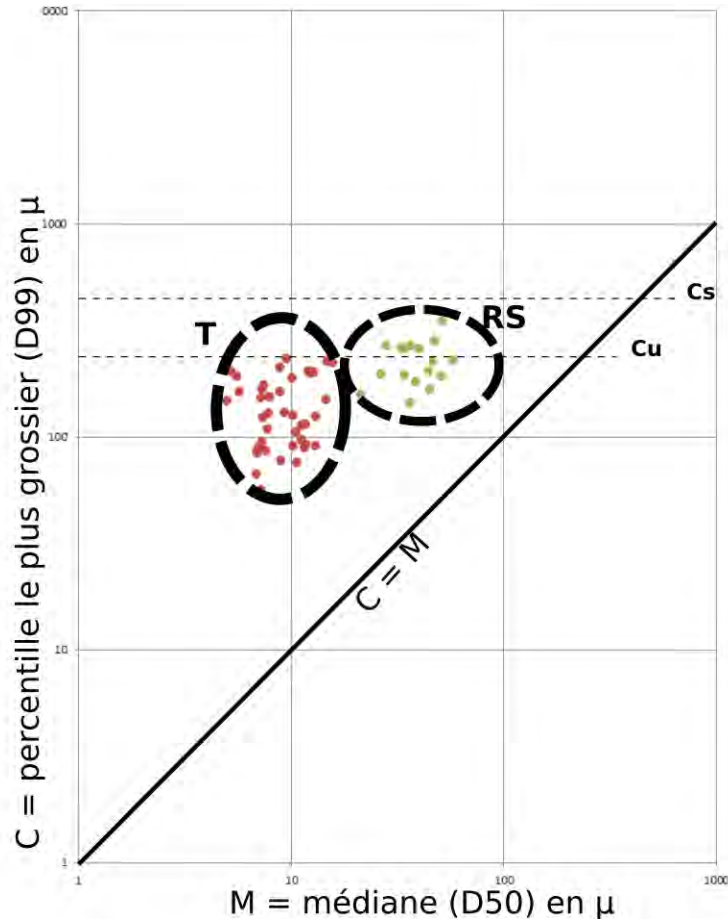
Fig.8.9 Localisation de la carotte Tara14

8.3.2 Description

59 échantillons ont été prélevés en laboratoire pour les analyses, ce qui donne en moyenne un pas d'échantillonnage de 10 cm, soit environ 10 échantillons par mètre. Des analyses de granulométrie et des pertes au feu ont été réalisées, ainsi que des mesures de susceptibilité magnétique et de spectrorimétrie (Fig.8.11). La chronologie de la carotte s'appuie sur six dates ¹⁴C.

8.3.3 Image CM

La projection des individus sur l'image CM (Fig.8.10) révèle deux segments : le segment RS correspond aux dépôts de suspension uniforme et le segment T correspond plutôt aux dépôts de suspension de type pélagiques.



- Cs** - la taille maximale des particules transportées par suspension graduée
- Cu** - la taille maximale des particules transportées par suspension uniforme
- RS** - suspension uniforme
- T** - suspension pélagique

Fig.8.10 Diagramme C/M Tara14

8.3.4 Analyse et interprétation de la carotte Tara14

La séquence Tara14 montre la succession suivante :

L'unité 1, de 88 cm d'épaisseur, (-6,00 m à -5,12 m sous la surface topographique) correspond au *substratum* représenté par des loëss, avec un grain moyen qui est situé autour de 11 microns. Les limons dominent ce niveau avec une moyenne de 78,1%, pour 6,5 sables fins et très fins, et 15,4% argiles. L'indice de tri, qui varie très peu, est situé entre 2,1 et 2,3 ce qui indique des sédiments très peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs entre 0,25 à 0,30 indiquant des échantillons asymétriques vers les fins. La matière organique a des valeurs situées en général entre 1% et 1,5%, avec un seul pic à plus de 2,5 situé à la base de la carotte.

Les carbonates présentent des variations plus importantes avec des valeurs comprises entre 4% et 8%. La susceptibilité magnétique de cette unité présente des valeurs élevées, avec une moyenne de $2,01^{E-04}$ S.I. nous avons un maximum à $2,81^{E-04}$ S.I. et un minimum à $1,33^{E-04}$ S.I..

L'unité 1 correspond au loess qui constitue le *substratum* pré-deltaïque.

L'unité 2, de 47 cm d'épaisseur, (-5,12 m à -4,65 m sous la surface topographique) correspond à un faciès Fsm, avec un grain moyen situé autour de 12 microns. Les limons dominant ce niveau avec une moyenne de 78%, contre 12,7% argiles et 9,3% sables. L'indice de tri, qui varie peu, est situé entre 2 et 2,2 ce qui indique des sédiments très peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs entre 0,16 à 0,28 indiquant des échantillons asymétriques vers les fins. La matière organique présente de faibles valeurs situées autour de 1%, tandis que les carbonates présentent des fortes variations avec des valeurs comprises entre 4% et 12%. La susceptibilité magnétique de cette unité a des valeurs à la baisse par rapport à l'unité précédente, avec une moyenne de $1,09^{E-04}$ S.I. nous avons un maximum à $1,36^{E-04}$ S.I. et un minimum à $3,51^{E-05}$ S.I..

L'unité 2 correspond à une plaine d'inondation à distance d'un distributaire.

L'unité 3, de 80 cm d'épaisseur, (-4,65 m à -3,85 m sous la surface topographique) correspond à un faciès Fl, avec un grain moyen situé autour de 40 microns. Les limons dominant ce niveau avec une moyenne de 62,9%, pour 34,1% sables et 3% argiles. L'indice de tri varie entre 1,3 et 1,7 ce qui indique des sédiments peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs entre 0,21 à 0,47 indiquant des échantillons asymétriques vers les fins et très asymétriques vers les fins. La matière organique a de faibles valeurs situées en général à moins de 1%, dépassant un peu cette valeur seulement dans la partie supérieure de l'unité. Les carbonates présentent des variations plus importantes, avec des valeurs autour de 12% dans la partie profonde de la carotte, pour arriver à 2% dans la partie supérieure. La susceptibilité magnétique de cette unité présente peu de variations avec une moyenne de $8,48^{E-05}$ S.I. nous avons un maximum à $1,34^{E-04}$ S.I. et un minimum à $4,56^{E-05}$ S.I..

L'unité 3 peut correspondre à une plaine d'inondation à proximité d'un distributaire ou à une *crevasse-splay* dans une plaine proximale.

L'unité 4, de 20 cm d'épaisseur (-3,85 m à -3,65 m sous la surface topographique) correspond à un faciès P, avec un grain moyen situé autour de 14,5 microns. Les limons dominant ce niveau avec une moyenne de 76,9%, contre 10,3% argiles et 12,8% sables. L'indice de tri varie entre 1,6 et 2,3 ce qui indique des sédiments peu triés et très peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs entre 0,01 à 0,11 indiquant des échantillons presque symétriques et asymétriques vers les fins. La matière organique a des valeurs élevées pour la carotte, situées entre 2% et 5%, tandis que les carbonates présentent peu de variations, avec des valeurs assez basses comprises entre 2% et 2,5%. La susceptibilité magnétique de cette unité ne présente pas de grandes variations à l'exception d'un seul pic, avec une moyenne de $7,64^{E-05}$ S.I. puis le pic situé à $5,63^{E-04}$ S.I. et un minimum à $2,84^{E-05}$ S.I..

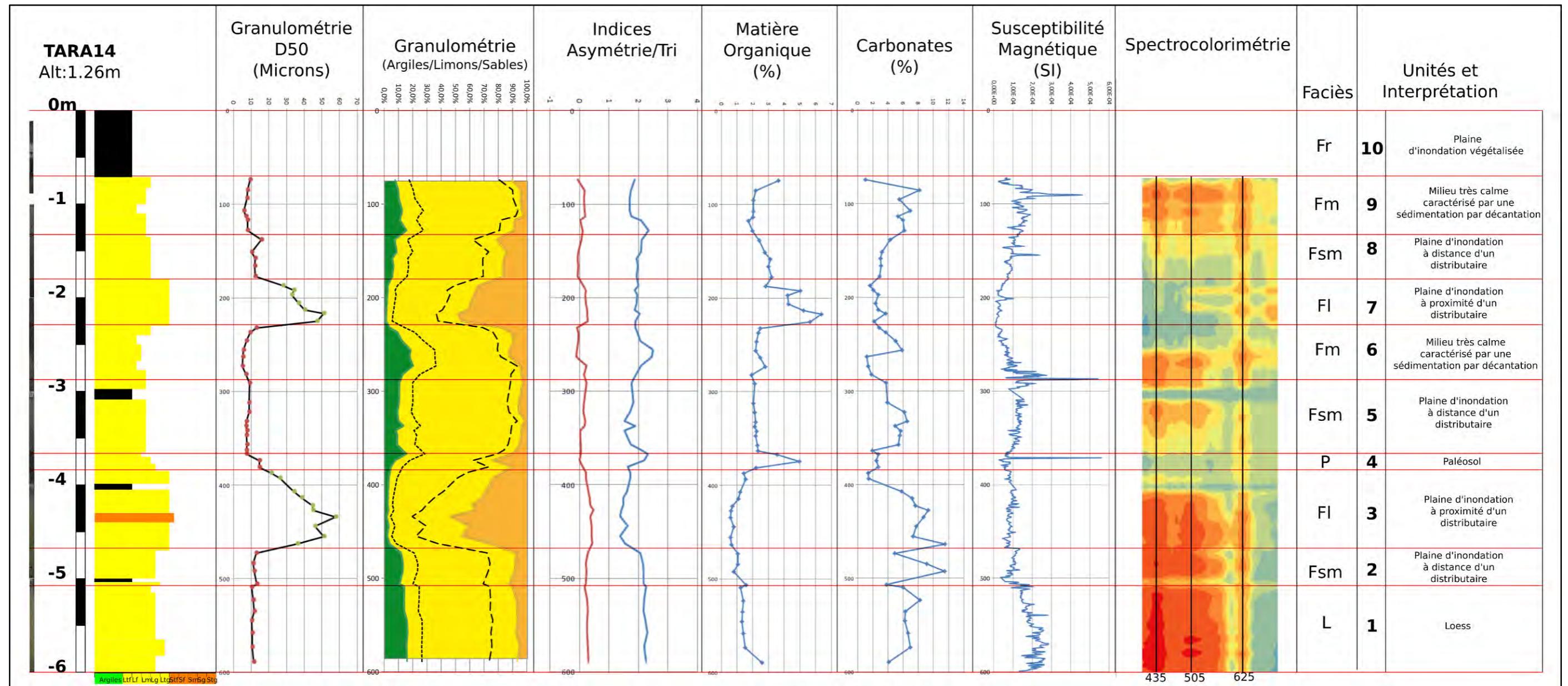


Fig.8.11 Résultats des analyses et mesures effectuées sur la carotte Tara14

L'unité 4 a été interprétée comme un paléosol, avec une évolution subaérienne.

L'unité 5, de 86 cm d'épaisseur, (-3,65 m à -2,79 m sous la surface topographique) correspond à un faciès Fsm, avec un grain moyen situé autour de 7,5 microns. Les limons dominent ce niveau avec une moyenne de 86%, contre 10,2% argiles et 3,8% sables. L'indice de tri varie entre 1,5 et 2,1 ce qui indique des sédiments peu triés et très peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs entre 0,01 à 0,23 indiquant des échantillons presque symétriques et asymétriques vers les fins. La matière organique a des valeurs situées autour de 2%, tandis que les carbonates présentent des variations plus importantes, avec des valeurs comprises entre 2% et 6%. La susceptibilité magnétique de cette unité présente peu de variations, avec une moyenne de $1,35^{E-04}$ S.I. nous avons un maximum à $1,79^{E-04}$ S.I. et un minimum à $7,28^{E-05}$ S.I..

L'unité 5 a été interprétée comme une plaine d'inondation à distance d'un distributaire.

L'unité 6, de 49 cm d'épaisseur, (-2,79 m à -2,30 m sous la surface topographique) correspond à un faciès Fm, avec un grain moyen situé autour de 7,5 microns. Les limons dominent ce niveau avec une moyenne de 75,9%, contre 15,3% argiles et 8,8% sables. L'indice de tri varie entre 1,9 et 2,5 ce qui indique des sédiments peu triés et très peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs entre -0,10 à 0,23 indiquant des échantillons presque symétriques et asymétriques vers les fins. La matière organique a des valeurs situées entre 2% et 3%, tandis que les carbonates présentent des valeurs un peu plus élevées, comprises entre 1% et 6%. La susceptibilité magnétique de cette unité présente des variations importantes, avec un pic situé dans la partie profonde de l'unité et des valeurs décroissantes vers la partie supérieure, pour une moyenne de $6,28^{E-05}$ S.I. nous avons un maximum à $5,41^{E-04}$ S.I. et un minimum à $1,52^{E-05}$ S.I..

L'unité 6 correspond à un milieu très calme, un marais distal, caractérisé par une sédimentation par décantation.

L'unité 7, de 50 cm d'épaisseur, (-2,30 m à -1,80 m sous la surface topographique) correspond à un faciès Fl, avec un grain moyen situé autour de 38,5 microns. Les limons dominent ce niveau avec une moyenne de 60,5%, contre 37,2% sables et 2,3% argiles. L'indice de tri, qui varie peu, est situé entre 1,8 et 2 ce qui indique des sédiments peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs entre 0,12 à 0,28 indiquant des échantillons asymétriques vers les fins. La matière organique a les valeurs les plus élevées de la carotte, situées entre 2,5% et 6,5, tandis que les carbonates présentent de faibles valeurs, comprises entre 2% et 4%. La susceptibilité magnétique de cette unité présente des petites variations, avec une moyenne de $3,24^{E-05}$ S.I. nous avons un maximum à $1,05^{E-04}$ S.I. et un minimum à $1,26^{E-05}$ S.I..

L'unité 7 correspond à une plaine d'inondation à proximité d'un distributaire et/ou une *crevasse-splay*. La teneur importante en matière organique pose problème à notre interprétation. Comme le protocole adopté pour les analyses granulométriques n'a pas compris l'élimination de la matière organique avant les mesures il est possible que dans ce cas les fragments organiques aient eu un impact sur les mesures de la fraction minérale de

l'échantillon. Dans ce cas, ce milieu peut faire l'objet d'une autre interprétation et peut traduire une évolution subaérienne du site, avec le développement d'un paléosol et d'une couverture végétale.

L'unité 8, de 50 cm d'épaisseur, (-1,80 m à -1,30 m sous la surface topographique) correspond à un faciès Fsm, avec un grain moyen situé autour de 12,5 microns. Les limons dominent ce niveau avec une moyenne de 76,3%, contre 16,8% sables et 6,9% argiles. L'indice de tri, qui varie peu, est situé entre 1,9 et 2,1 ce qui indique des sédiments peu triés et très peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs entre - 0,05 à 0,06 indiquant des échantillons presque symétriques. La matière organique est à la baisse vers la surface, avec des valeurs situées entre 3% et 2%, tandis que les carbonates ont une évolution inverse avec des valeurs comprises entre 3% et 4%. La susceptibilité magnétique de cette unité a des valeurs plus élevées que l'unité précédente, pour une moyenne de $2,01^{E-04}$ S.I. nous avons un maximum à $2,40^{E-05}$ S.I. et un minimum à $4,83^{E-05}$ S.I..

L'unité 8 a été interprétée comme une plaine d'inondation à distance d'un distributaire.

L'unité 9, de 60 cm d'épaisseur, (-1,30 m à -0,70 m sous la surface topographique) correspond à un faciès Fm, avec un grain moyen situé autour de 7,5 microns. Les limons dominent ce niveau avec une moyenne de 82,7%, contre 11,3% argiles et 6% sables. L'indice de tri varie entre 1,7 et 2,3 ce qui indique des sédiments peu triés et très peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs entre -0,06 à 0,19 indiquant des échantillons presque symétriques et asymétriques vers les fins. La matière organique a des valeurs qui varient très peu situées autour de 2%, à l'exception d'un pic situé dans la partie supérieure de l'unité, à plus de 3,5%. Les carbonates présentent des valeurs entre 5% et 8%, avec un pic négatif dans la partie supérieure de l'unité à 1%. La susceptibilité magnétique de cette unité présente des variations importantes, avec une moyenne de $1,59^{E-04}$ S.I. nous avons un maximum à $4,62^{E-04}$ S.I. et un minimum à $2,85^{E-04}$ S.I..

L'unité 9 correspond à un milieu très calme, un marais distal, caractérisé par une sédimentation par décantation.

L'unité 10, de 70 cm d'épaisseur, (-0,70 m à la surface topographique) correspond à un faciès Fr, caractéristique pour les plaines d'inondation végétalisées. Cette unité n'a pas fait l'objet d'analyses dans le laboratoire.

8.3.5 Datations

La chronologie de la séquence 14 repose sur 6 datations ^{14}C , le matériel utilisé pour toutes les datations étant le sédiment organique.

La première datation est située dans l'unité 2, à -4,87 m de profondeur, a donné la valeur 5310 ± 40 BP, ce qui correspond, après une calibration 2 sigma, à -4258/-4001.

| Nom | Age 14C | Matériel | Calibration 1 | Calibration 2 |
|----------------|---------------|--------------------|---------------|---------------|
| Log14 (-2,09) | 350 ± 30 BP | Sédiment organique | 1481/1630 | 1458/1635 |
| Log14 (-2,48) | 760 ± 60 BP | Sédiment organique | 1212/1290 | 1059/1389 |
| Tara14 (-2,61) | 3 635 ± 30 BP | Sédiment organique | -2 032/-1 951 | -2 131/-1 912 |
| Tara14 (-3,41) | 3 750 ± 30 BP | Sédiment organique | -2 204/-2 061 | -2 281/-2 038 |
| Log14 (-3,73) | 4 300 ± 40 BP | Sédiment organique | -3 007/-2 883 | -3 023/-2 876 |
| Log14 (-4,87) | 5 310 ± 40 BP | Sédiment organique | -4 230/-4 055 | -4 258/-4 001 |

Tableau 8.2 Datations carotte Tara14

Le deuxième échantillon daté, situé dans l'unité 4, à une profondeur de -3,73 m, a donné la valeur 4300±40 BP, ce qui correspond, après une calibration 2 sigma, à -3 023/-2 876. Le troisième échantillon daté, situé dans l'unité 5, à une profondeur de -3,41m, a donné la valeur 3 750±30 BP, ce qui correspond, après une calibration 2 sigma, à -2 281/-2 038. Les quatrième et cinquième datations sont situées dans l'unité 6 aux profondeurs de -2,61 et -2,48 et ont donné des dates assez différentes, 3 635±30 BP et 760±60 BP ce qui correspond après une calibration 2 sigma, à -2 131/-1 912 et 1059/1389. La sixième et dernière datation de la carotte, située dans l'unité 7, à -2,09 m de profondeur et a donné la valeur 350±30 BP, ce qui correspond, après une calibration 2 sigma, à 1458/1635.

8.3.6 Diagramme palynologique

La carotte Tara14 a fait l'objet de l'étude du pollen et des micro-fossiles non-polliniques entre les profondeurs -2,44m et -5,05m, qui nous permet principalement de décrire l'évolution du paysage.

La séquence est dominée par les herbacées (entre 50 et 80 %) : *Chenopodiaceae*, *Poaceae*, *Artemisia*, *Asteraceae* *Asteroidaeae*, *Apiaceae*. Les assemblages indiquent un milieu ouvert dans lequel on observe des taux importants de *Chenopodiaceae* (entre 20 et 60%). Ces taxons sont très probablement liés à la progression des eaux saumâtre. De nombreuses espèces de cette famille sont des plantes halophiles (par exemple : *Salicornia* sp., *Suaeda* sp., *Bassia hirsuta*, *Salsola soda* etc.). Les familles *Asteraceae*, *Caryophyllaceae*, *Poaceae*, *Brassicaceae* peuvent aussi inclure des espèces halophytes.

3 zones (Fig.8.12) ont été identifiées, *PAZ1*, *PAZ2* et *PAZ3* avec des assemblages différents.

PAZ1 - Cette zone ne correspond qu'à un seul échantillon, situé à la profondeur de 505 cm dans l'unité 2. L'assemblage est dominé par les *Poacées* et les *Chénopodiacées* (environ 40% ensemble). Le taux d'arbres est faible (AP<25%). On mentionne la présence de *Quercus*, *Carpinus*, *Fagus*, *Tilia*. Le diagramme montre aussi la présence de quelques grains de *Fagus*.

L'occurrence de spores de *Glomus*, un bon indicateur de l'érosion des sols (van Geel, 2001), accompagnée des spores des champignons coprophiles (*Cercophora* (HdV-112), *Coniochaeta cf ligniaria* (HdV-172), *Sordaria* (HdV-55)), pourrait être interprétée comme un indice d'activité anthropique.

On observe aussi la présence importante (20%) de taxons aquatiques et hygrophiles (*Sparganium*, *Alisma plantago-aquatica*, *Nymphaoides*). Les zygospores d'algues comme *Pediastrum*, *Mougeotia*, *Spyrogira* sont les marqueurs des variations hydrologiques et trophiques de la zone de dépôt. *Spyrogira* et *Pediastrum* peuvent indiquer dans ce cas l'élévation du niveau de l'eau, de façon durable et importante.

On note l'absence du pollen entre la profondeur de -5,05m et -3,98m, qui correspond en grande partie à l'unité 3, caractérisée par un taux important des sables.

PAZ2 - Dans cette zone, située entre les profondeurs de -3,98m et -3,70m et qui correspond en grande partie à l'unité 4, les arbres sont encore moins bien représentés (10%<AP<20%) que dans la PAZ1. *Quercus* reste le taxon représentatif.

Les assemblages sont nettement dominés par les *Chénopodiacées* (jusqu'au 60%). Par rapport à PAZ1, les *Poacées* et les *Asteracées* enregistrent des augmentations. Quelques grains de pollen de messicoles (*Polygonum*, *Rubiaceae*) et des plantes de lieux piétinés et pâturés (*Plantago*, *Artemisia*, *Rumex*, etc) peuvent être considérés comme des indices polliniques d'anthropisation. De plus, au commencement de cette zone, on observe un pic de *Cercophora*. On peut dès lors supposer qu'il s'agit d'une période favorable aux activités agropastorales, d'autant que les taxons hygrophiles et aquatiques sont en baisse. On observe aussi que *Pediastrum* et *Botryococcus* sont presque absents.

PAZ3 - Le sommet de la séquence analysée, situé entre les profondeurs -3,70m et -2,44m (les unités 5 et 6), est marqué par un accroissement de la représentation des arbres (AP) et une nette diminution des *Chénopodiacées*. Des formations forestières sont attestées et sont mieux représentées que dans les deux premières zones (PAZ1 et PAZ2). On observe une forêt caducifoliée (chêne, charme, tilleul) et on enregistre aussi des taxons caractéristiques de la ripisylve (*Alnus*, *Salix*, *Betula*).

Les *Poacées* présentent une relative stabilité. Un seul grain de pollen de *Cerealia* a été identifié. On enregistre aussi des taxons messicoles et des plantes des lieux piétinés et pâturés. Les spores des champignons coprophiles sont présentes, mais leurs valeurs restent faibles par rapport au début de la zone PAZ2. Dans le même temps, les pourcentages de taxons hygrophiles et aquatiques sont en hausse. Par ailleurs, vers la fin de cette séquence, on observe le signal d'une modification des conditions édaphiques, avec une probable remise en eau. Les valeurs de *Pediastrum* et *Botryococcus* sont en hausse. Bien qu'il s'agisse d'algues d'eau douce, ces deux taxons peuvent également tolérer de faibles valeurs de salinité.

Plusieurs formations forestières sont attestées : forêts de chênes (*Quercus*), accompagnées de charmes (*Carpinus betula*), de charmes d'Orient (*Carpinus orientalis*) et de tilleuls (*Tilia*). On note également la présence du hêtre (*Fagus*). Ces forêts sont ultérieurement mieux représentées. On note la présence des forêts riveraines, composées d'aulnes (*Alnus*), de bouleau (*Betula*), de saule (*Salix*). Le noisetier (*Corylus*), l'orme (*Ulmus*) et le frêne (*Fraxinus*) sont aussi enregistrés. Des taxons aquatiques comme *Sparganium*, *Potamogeton*, *Butomus*, *Alisma* reflètent le caractère très faiblement saumâtre des eaux. Les taux d'épicéa (*Picea*), de pin (*Pinus*) et de sapin (*Abies*) s'expliquent par des apports lointains.

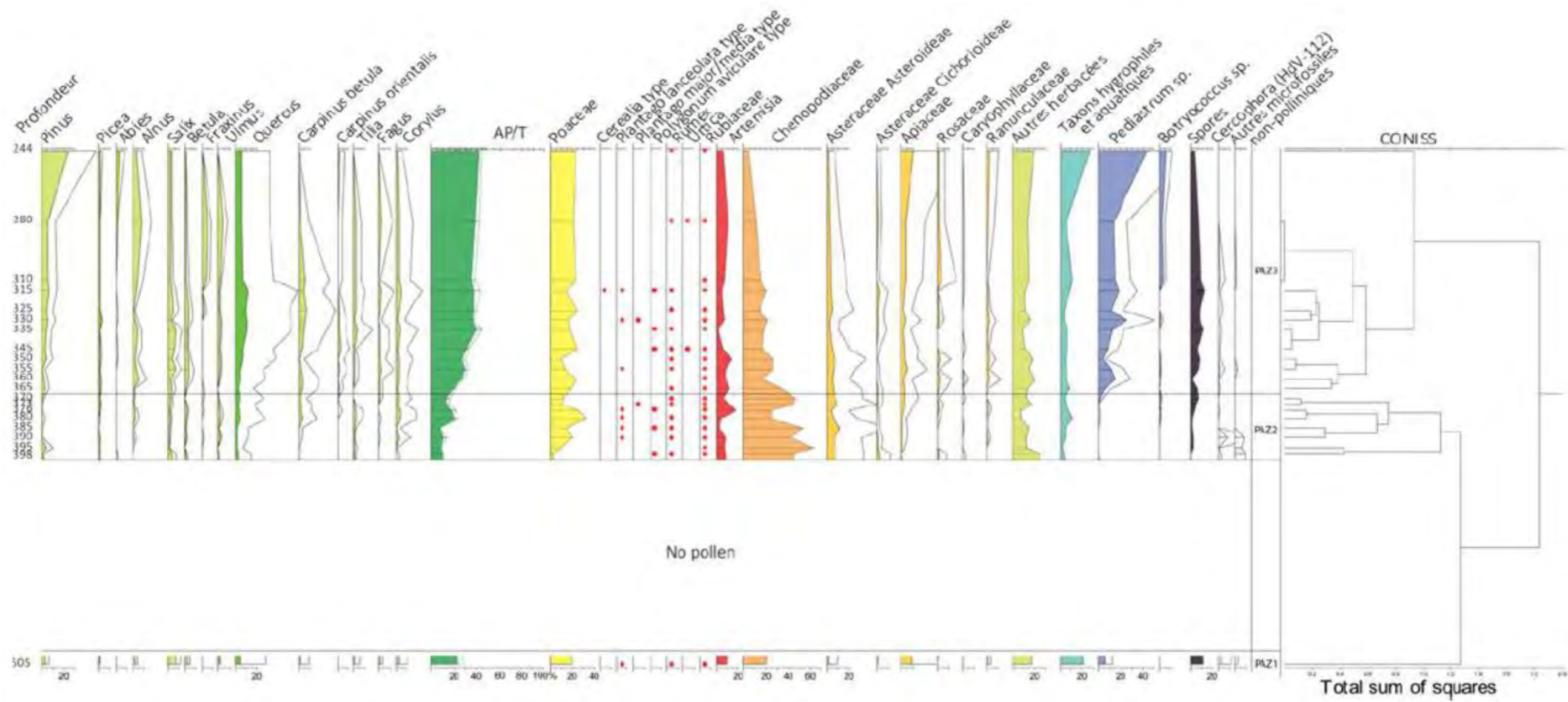


Fig.8.12 Diagramme palynologique de la carotte Tara14

Bien que les arbres semblent mieux représentés dans la partie finale de la séquence, il est actuellement difficile de reconstituer leurs distributions passées dans le delta, car nous ne pouvons pas encore discriminer les apports locaux des apports plus lointains, par les vents et par les eaux du Danube.

8.4 Carotte Tara24

8.4.1 Localisation

La carotte Tara24 mesure 4 m de longueur et son point de départ est situé à une altitude de -1,94 m bsl. Elle a été prélevée immédiatement au sud du site archéologique de Taraschina (Fig.8.13). La colonne sédimentaire a été transportée dans le laboratoire et 3 mètres ont été échantillonnés pour les analyses. Le premier mètre (0-100cm) près de la surface n'a pas fait l'objet d'analyse.



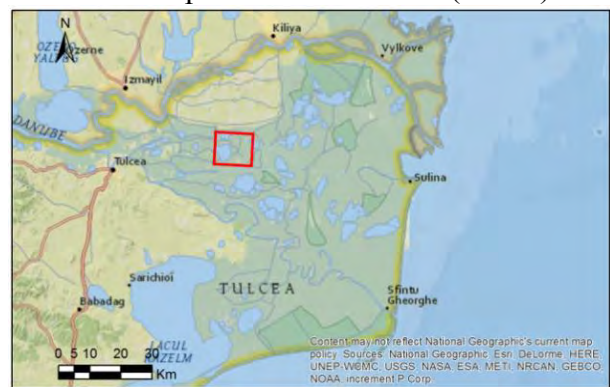
a. Photo site carottage (Ph. Valette)



b. Carte topo DTM 1 : 25 000 (ICEM)



c. Image ortho-photo 2011 (MNIR)



d. Localisation terrain (ArcGis)

Fig.8.13 Localisation de la carotte Tara24

8.4.2 Description

35 échantillons ont été prélevés en laboratoire pour les analyses, ce qui donne en moyenne un pas d'échantillonnage de 8,6 cm, soit environ 12 échantillons par mètre. Des analyses de granulométrie et des pertes au feu ont été réalisées, ainsi que des mesures de susceptibilité magnétique et de spectrophotométrie (Fig.8.15). La chronologie de la carotte s'appuie sur quatre dates 14C.

8.4.3 Image CM

La projection des individus sur l'image CM (Fig.8.14) révèle des échantillons appartenant aux trois segments : dépôts de roulement – segment PQ ; dépôts de suspension uniforme -segment RS ; dépôts de suspension de type pélagique -segment T.

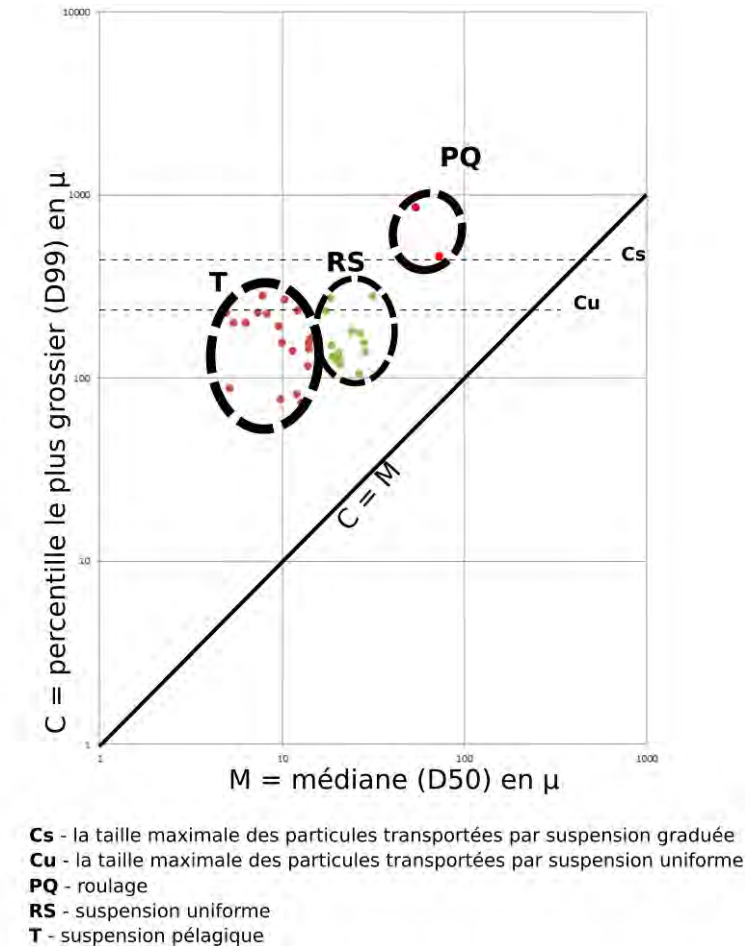


Fig.8.14 Diagramme C/M Tara24

8.4.4 Analyse et interprétation de la carotte Tara24

La séquence Tara24 montre la succession suivante :

L'unité 1, de 45 cm d'épaisseur, (-4,00 m à -3,55 m sous la surface topographique) correspond au *substratum* représenté par des lœss, avec un grain moyen qui est situé autour de la valeur de 20 microns. Les limons dominent ce niveau avec une moyenne de 81,6%, pour 12,5 sables fins et très fins, et 5,9% argiles. L'indice de tri, qui varie très peu, est situé autour de 1,7 ce qui indique des sédiments peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs entre 0,28 à 0,30 indiquant des échantillons asymétriques vers les fins. La matière organique a des faibles valeurs situées autour de 1%, tandis que les carbonates présentent des valeurs élevées pour la carotte, comprises entre 8% et 11%. La susceptibilité magnétique de cette unité présente des valeurs élevées, avec une moyenne de $2,01^{E-04}$ S.I. nous avons un maximum à $2,74^{E-04}$ S.I. et un minimum à $1,31^{E-04}$ S.I.. L'unité 1 correspond au *substratum* lœssique pré-deltaïque.

L'unité 2, de 45 cm d'épaisseur, (-3,55 m à -3,10 m sous la surface topographique) correspond à un faciès Fl, avec un grain moyen situé autour de 25,5 microns. Les limons dominent ce niveau avec une moyenne de 79,7%, contre 16,5% sables et 3,8% argiles. L'indice de tri varie de 1,39 à 1,73 ce qui indique des sédiments peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs entre 0,24 à 0,34 indiquant des échantillons asymétriques vers les fins et très asymétriques vers les fins. La matière organique est en légère hausse par rapport au niveau précédent, avec des valeurs comprises entre 1% et 1,5%, tandis que les carbonates, après un pic situé à plus de 14% (le maximum de la carotte) enregistré à la base de l'unité, présentent une baisse vers la partie supérieure, jusqu'aux valeurs situées à moins de 2%. La susceptibilité magnétique de cette unité est assez stable, avec une moyenne de $1,19^{E-04}$ S.I., à l'exception d'un pic situé à $3,07^{E-04}$ S.I. lié à la présence d'un tessou.

L'unité 2 correspond à une plaine d'inondation à proximité d'un distributaire.

L'unité 3, de 84 cm d'épaisseur, (-3,10 m à -2,26 m sous la surface topographique) correspond à un faciès Fsm, avec un grain moyen qui oscille entre 10 et 14 microns. Les limons dominent cette unité, avec une moyenne de 84,3%, contre 8,1% argiles et 7,6% pour les sables. Deux sous-unités ont été distinguées compte tenu de la proportion des sables, des argiles et de la teneur en matière organique.

La sous-unité 3a, de 65 cm d'épaisseur (-3,10m à -2,45m), avec un grain moyen de 10,5 microns, est composée des limons 83,2%, argiles 9,3% et sables 7,5%, et a des valeurs pour la matière organique situées entre 1,5% et 2%. On note la proportion des limons très grossiers situé autour de 15%.

La sous-unité 3b, de 19 cm d'épaisseur, (-2,45m à -2,26m), avec un grain moyen de 13,5 microns, est composée des limons 84,7% argiles 6,1% et sables 9,2%, a des valeurs pour la matière organique entre 3% et 4%. On note la proportion de limons très grossiers situé autour de 19%. Les carbonates ont des valeurs assez stables pour la totalité de l'unité, situées entre 1,5% et 2%. L'indice de tri varie de 1,65 à 1,96 ce qui indique des sédiments peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs de 0,01 à 0,29 indiquant des échantillons presque symétriques (sous-unité 3b) et asymétriques vers les fins (sous-unité 3a). La susceptibilité magnétique avec moyenne située à $9,72^{E-05}$, a des variations situées entre $5,75^{E-05}$ et $1,42^{E-04}$, présentant une légère hausse vers la profondeur dans la sous-unité 3a.

L'unité 3 a été interprétée comme une plaine d'inondation à distance d'un distributaire à deux pas.

L'unité 4, de 60 cm d'épaisseur, (-2,26m à -1,66 m sous la surface topographique) correspond à un faciès Fm, avec un grain moyen situé autour 7 microns, dominé par les limons 74,8% contre 12,6% argiles, et 12,7% sables. L'indice de tri varie de 1,9 à 2,6 ce qui indique des sédiments peu triés à très peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs entre -0,20 à 0,14 indiquant une variété des échantillons, de asymétriques vers les grossiers symétriques à très asymétriques vers les fins. La matière organique a des valeurs élevées, avec des variations situées entre 2% et 4,5%, tandis que les carbonates présentent des valeurs assez stables et basses situées autour de 2%. La susceptibilité magnétique de cette unité présente une forte

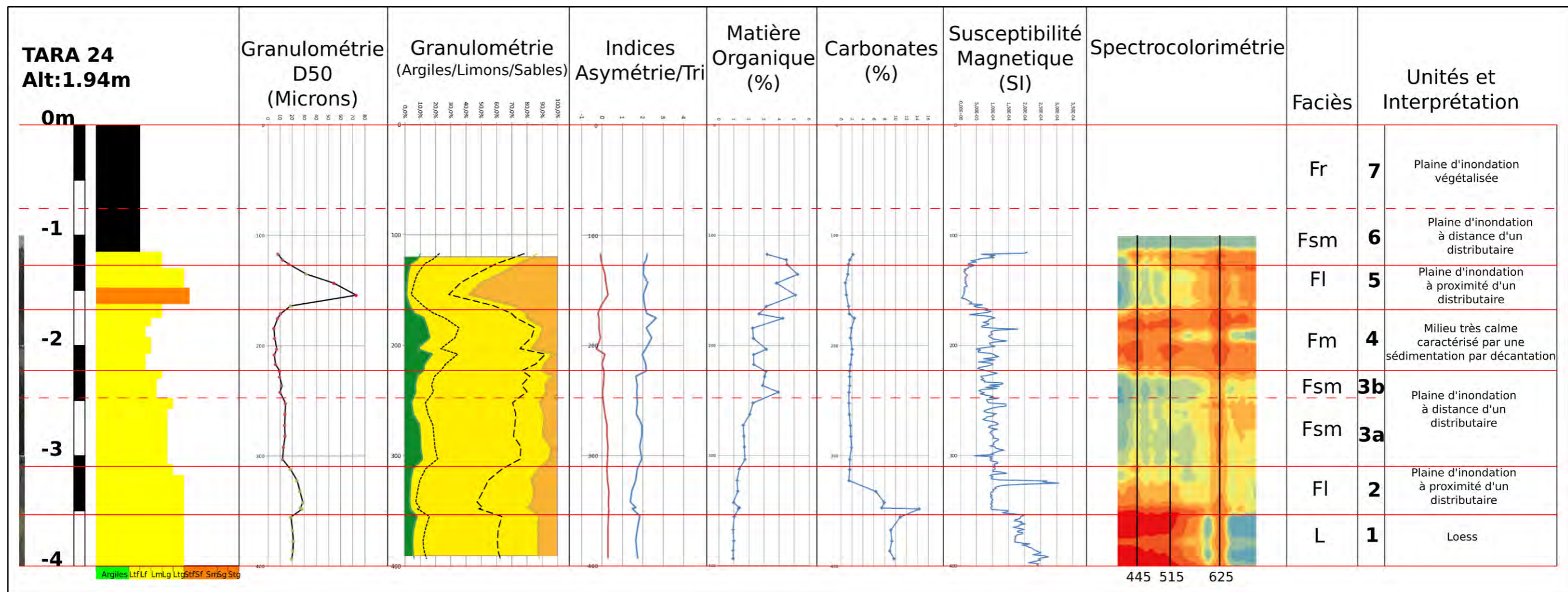


Fig.8.15 Résultats des analyses et mesures effectuées sur la carotte Tara24

variabilité, pour une moyenne de $8,87^{E-05}$ S.I. nous avons un maximum à $1,79^{E-04}$ S.I. et un minimum à $2,75^{E-05}$ S.I..

L'unité 4 est un milieu très calme, un marais distal, caractérisé par une sédimentation par décantation.

L'unité 5, de 42 cm d'épaisseur, (-1,66 m à -1,24 m sous la surface topographique) correspond à un faciès Fl, avec une moyenne du grain moyen vers 40 microns, mais avec des échantillons qui dépassent les 50 microns. Les limons dominent ce niveau, mais seulement avec une moyenne de 57,8%, pour 39,7% sables et les argiles 2,3%. L'indice de tri varie à plus de 2 ce qui indique des sédiments peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs entre -0,04 à 0,28 indiquant une variété des échantillons, de très asymétriques vers les grossiers à asymétriques vers les fins. La matière organique a les valeurs les plus élevées de la carotte, comprises entre 3% et 5,5%, tandis que les carbonates présentent des valeurs stables et basses situées à moins de 2%. La susceptibilité magnétique de cette unité enregistre les valeurs les plus basses de la carotte avec une moyenne de $2,09^{E-05}$ S.I. pour un maximum à $6,81^{E-05}$ S.I. et un minimum à $3,93^{E-06}$ S.I..

L'unité 5 marque un retour à des conditions de dépôt plus énergiques et correspond à une plaine d'inondation à proximité d'un distributaire.

L'unité 6 commence à -1,24 m sous la surface topographique et correspond à un faciès Fsm, avec un grain moyen vers 10 microns, est dominée par les limons avec 74,5%, pour 16,3% sables et les argiles 9,2%. L'indice de tri varie à plus de 2 ce qui indique des sédiments peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs entre -0,08 à -0,04 indiquant des échantillons presque symétriques. La matière organique a des valeurs en baisse par rapport à l'unité précédente et vers la surface, comprises entre 3% et 5%, tandis que les carbonates présentent une légère hausse, avec des valeurs situées autour de 2%. La susceptibilité magnétique a des valeurs en hausse par rapport à l'unité 5 avec une moyenne de $9,81^{E-05}$ S.I. pour un maximum à $2,02^{E-04}$ S.I. et un minimum à $2,38^{E-05}$ S.I..

L'unité 6 a été interprétée comme une plaine d'inondation à distance d'un distributaire

L'unité 7 - Le premier mètre de la carotte Tara24 n'a pas fait l'objet d'analyse dans le laboratoire, étant fortement perturbé par les racines de la végétation, donc nous n'avons pas d'information concernant l'épaisseur de cette unité ni de ses caractéristiques, qui devrait toutefois correspondre à un faciès Fr, d'une plaine d'inondation végétalisée, comme c'est le cas des autres carottes prélevées dans cette région.

8.4.5 Datations

4 échantillons de la carotte Tara24 ont été datés, les matériels utilisés pour les datations étant le sédiment organique et le charbon.

La première datation est située dans l'unité 2, à -3,46 m de profondeur, a donné la valeur $5\ 560 \pm 40$ BP, ce qui correspond, après une calibration 2 sigma, à -4 462/-4 338. Le deuxième échantillon daté, situé toujours dans l'unité 2, à une profondeur de -3,20 m, a donné

la valeur $5\,430 \pm 30$ BP, ce qui correspond, après une calibration 2 sigma, à $-4\,342/-4\,242$. Le troisième échantillon daté, situé dans l'unité 3, sous-unité 3b, à une profondeur de $-2,33$ m, a donné la valeur $3\,550 \pm 30$ BP, ce qui correspond, après une calibration 2 sigma, à $-2\,009/-1\,772$. La quatrième et dernière datation de la carotte, située dans l'unité 4, à $-1,80$ m de profondeur a donné la valeur $1\,620 \pm 70$ BP, ce qui correspond, après une calibration 2 sigma, à $254/588$.

| Nom | Age 14C | Matériel | Calibration 1 | Calibration 2 |
|---------------|--------------------|--------------------|---------------|---------------|
| Log24 (-1,80) | $1\,620 \pm 70$ BP | Charbon | 356/539 | 254/588 |
| Log24 (-2,33) | $3\,550 \pm 30$ BP | Sédiment organique | -1 945/-1 784 | -2 009/-1 772 |
| Log24 (-3,20) | $5\,430 \pm 30$ BP | Sédiment organique | -4 335/-4 261 | -4 342/-4 242 |
| Log24 (-3,46) | $5\,560 \pm 40$ BP | Sédiment organique | -4 447/-4 357 | -4 462/-4 338 |

Tableau 8.3 Datations carotte Tara24

Conclusion du chapitre 8

Quatre sites ont été sondés dans la région Fortuna-Sontea, région impactée par des travaux liés à l'exploitation du roseau et à la navigation, comme le creusement des canaux et la construction des plateformes pour stocker le roseau. Les carottes Sontea01 et Sontea 02 sont situées sur les berges du Canal Sontea, tandis que les carottages Tara14 et Tara24 ont été effectuées près du site archéologique Taraschina.

La séquence Sontea 01 repose directement sur le substratum pré-deltaïque. Il s'agit d'une séquence sédimentaire d'origine fluvio-palustre qui s'organise en deux unités. L'unité basale, la plus grossière est dominée par les faciès de limons faiblement organiques à alternance de sables lités. Elle correspond à une levée de berge naturelle. La séquence supérieure, montre un grano-classement inverse et est dominée par des faciès fins de limons organiques. Il s'agit d'une séquence de zone humide de type *backswamp*, développé en arrière d'une levée de berge.

La séquence de Sontea02 n'a pas atteint le substratum pré-deltaïque. Toutefois, la forte diminution des valeurs du grain moyen à la base de la séquence et les fortes teneurs en carbonates suggèrent que la formation basale pourrait dériver directement du substratum qui serait très proche. La séquence de Sontea02 montre une opposition entre une unité basale limono-organique, mise en place dans un environnement de plaine alluviale palustre et une unité supérieure pour partie ou en totalité anthropique.

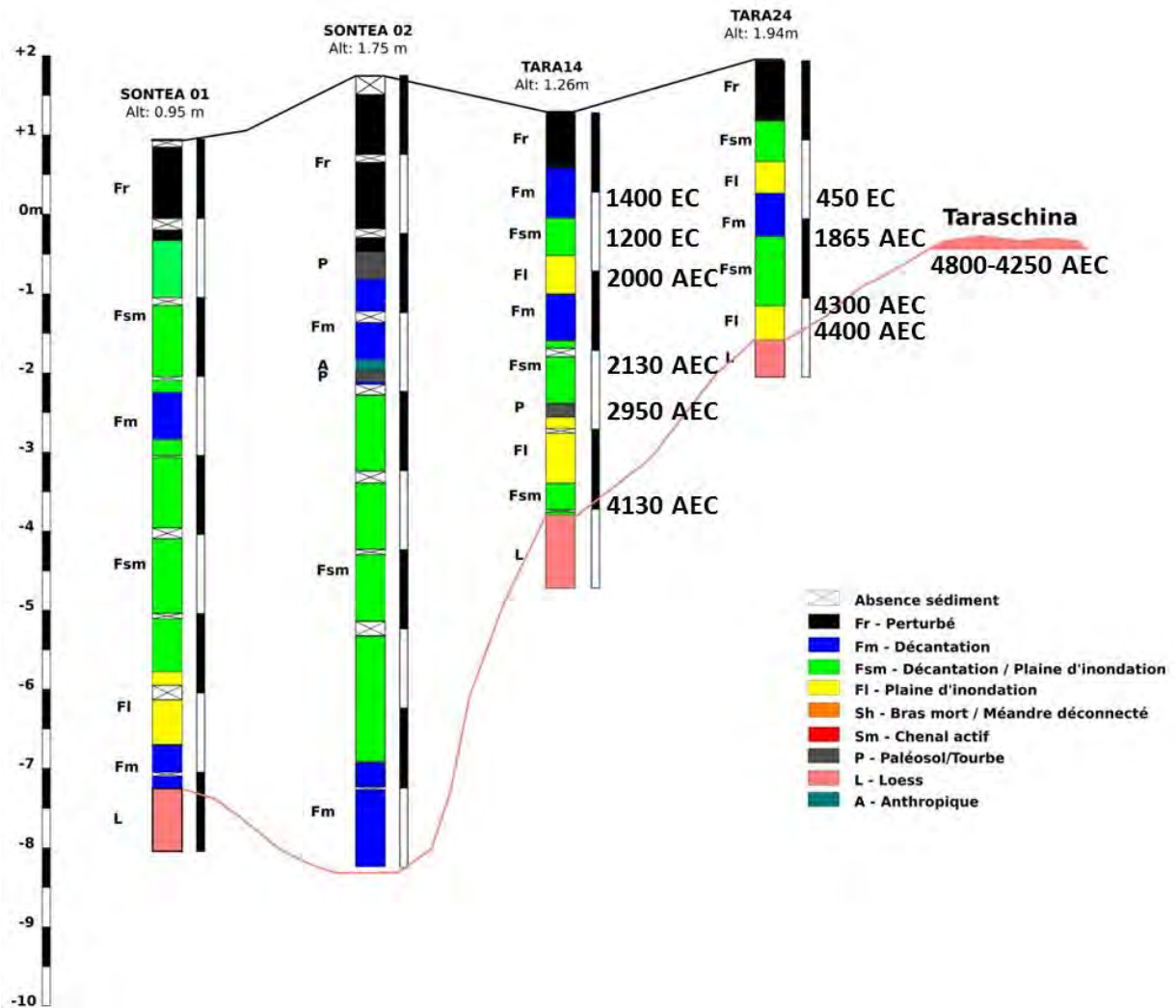


Fig.8.16 Logs des carottes dans la région Fortuna-Sontea

La base de la séquence Tara14 et le début du dépôt peuvent être datés vers ca. 4 250 AEC. C'est à cette date que la séquence loessique pré-deltaïque commence à être recouverte par des sédiments caractéristiques à une plaine d'inondation distale représentée par l'unité 2. Les niveaux 3 et 7 attestent d'événements plus énergiques, liés à la mise en place d'une plaine d'inondation à proximité d'un distributaire, ou peut-être à des ruptures de levée de berge. La sédimentation se poursuit jusque vers ca. 3 000 AEC, datations situées dans l'unité 4, interprétée comme un paléosol. À cette date, il semble exister un hiatus ou un ralentissement des apports dont la durée peut être estimée entre 700 et 800 ans. Les indicateurs palynologiques montrent, à cette période, un assèchement marqué du milieu. La période comprise entre 3 000 et 2 300 AEC semble correspondre à une phase de faible activité hydrologique dans cette partie du delta. Les deux dernières dates, situées dans les unités 6 et 7, permettent de dater le sommet de la séquence (derniers 2.45 m) du dernier millénaire. Plus précisément, cette formation semble se mettre en place après ca. 1059-1389 (âge moyen 1224). Ces éléments suggèrent l'existence d'un hiatus sédimentaire important sur ce site entre 2 300 AEC et 1 200 EC, soit près de trois millénaires et demi. Ils montrent sans ambiguïté

qu'une partie importante (quasiment la moitié) de la séquence sédimentaire s'est formée au cours de la période récente, peut-être en relation avec le Petit Âge Glaciaire.

La datation de la base de la carotte Tara24 permet d'envisager un début du recouvrement des formations lœssiques pré-deltaïques vers ca. 4 450 AEC par des sédiments caractéristiques d'une plaine d'inondation à proximité d'un distributaire. Ensuite nous avons une évolution vers des milieux de faible énergie, une plaine d'inondation à distance d'un distributaire, comme c'est le cas pour l'unité 3 et une plaine d'inondation distale, voire des marais, dans le cas de l'unité 4. Sur la base des deux datations inférieures, situées toutes les deux dans l'unité 2, il semble qu'il existe un hiatus de près d'un millénaire, entre ca. 4 050 AEC et ca. 3 000 AEC. Les deux datations intermédiaires semblent indiquer une vitesse d'accumulation plus réduite entre 3 000 AEC et ca. 1 250 EC. Le sommet de la séquence, correspondant au derniers 1,50 m de dépôt, s'est formé au cours du dernier millénaire et est contemporain du Petit Âge Glaciaire. Sur cette période nous avons une autre unité gradodécroissante qui montre une évolution depuis des milieux de forte énergie proches du chenal, l'unité 5, vers des milieux de faible énergie, une plaine d'inondation à distance d'un distributaire, représentée par l'unité 6.

Chapitre 9

La région des « Méandres de Mila »

Dans cette zone d'étude trois carottes ont été prélevées (Fig.9.1). Un premier carottage est situé à proximité du village Mila23, sur un ancien méandre du Vieux Danube, carottage appelé « Mila ». Deux autres carottages ont été réalisés sur les berges du canal Cazanel (Caz01, Caz02), un canal creusé au cours de la période 1960-1970 pour donner un accès direct du Vieux Danube dans le Lac Cazanel. La réalisation de ce canal est liée à la période d'exploitation intense du roseau.

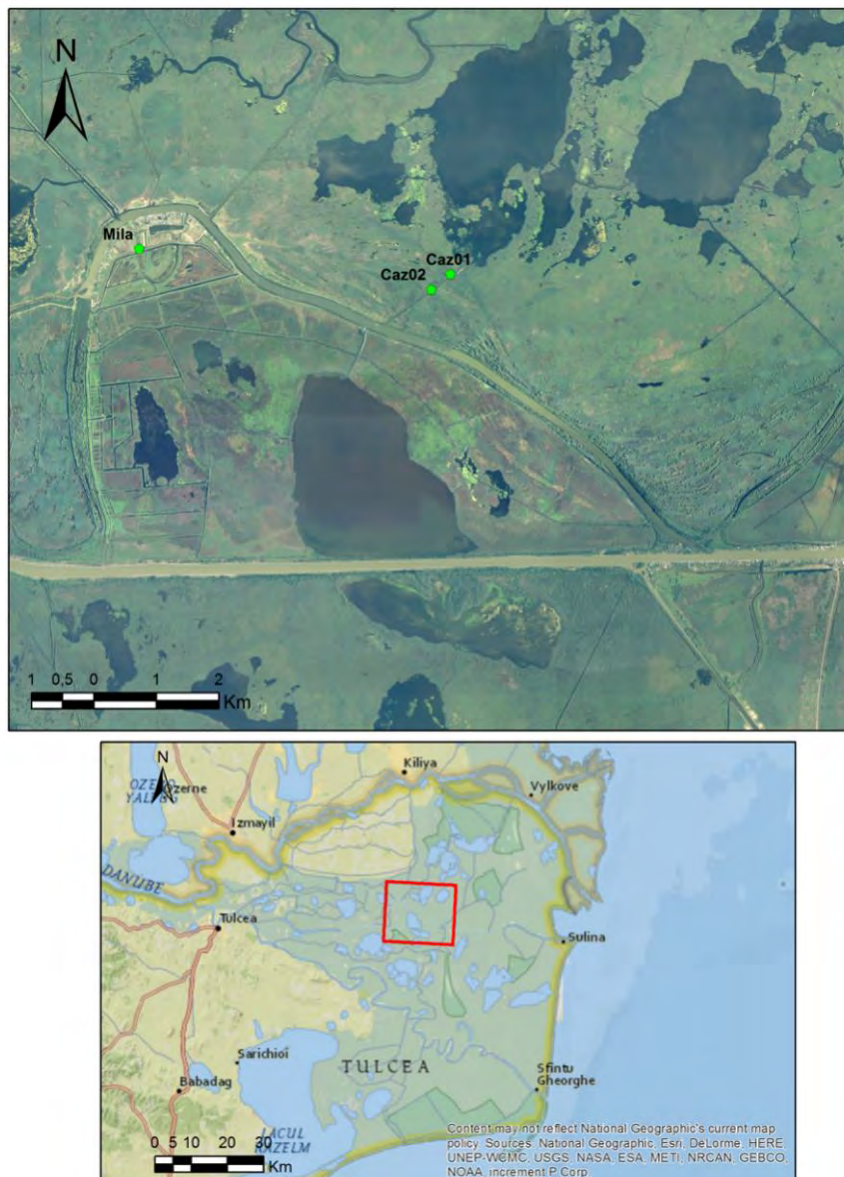
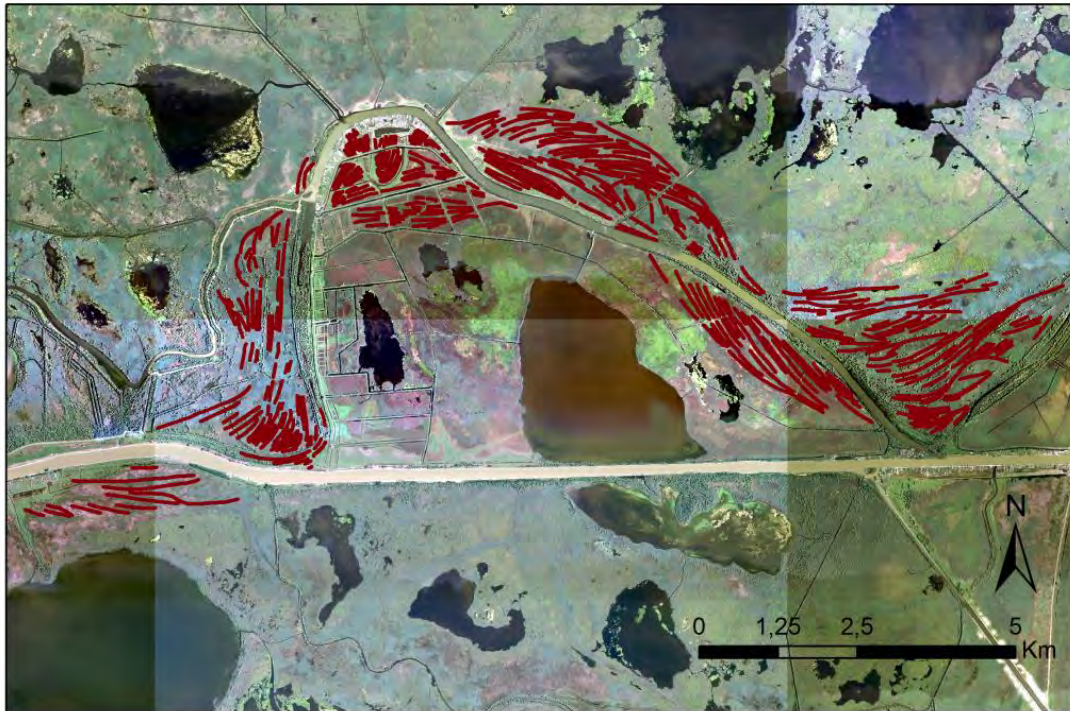


Fig.9.1 Les méandres de Mila
Source fond de carte : 1-MNIR ; 2-ArcGis

Ce secteur correspond à la bande de méandrage associée au chenal de Sulina. Cette bande de méandrage, visible sur les ortho-photos de 2011 (Fig.9.2 a), s'organise en deux faisceaux, séparés par une discordance. Le faisceau nord montre une progradation vers l'aval du système méandrique accompagné d'une diminution de la courbure du chenal. Le second faisceau présente une courbure moindre et est associé au faisceau de la rive droite ; ils enregistrent tous les deux une diminution de la courbure du chenal.



a. Image ortho-photo 2011 (MNIR)



b. Photo des méandres abandonnés en période de crue
Fig.9.2 La bande de méandrage du chenal Sulina

9.1 Carotte Caz01

9.1.1 Localisation

La carotte Caz01 a été prélevée dans un méandre abandonné par la migration du Bras Sulina vers le sud, sur la rive gauche d'un canal creusé dans les années 1960 (Fig.9.3). Elle mesure 10 m de longueur et son point de départ est situé à une altitude de 0,85 m bsl. Le carottage a été effectué avec une gouge fermée et la colonne sédimentaire a été transportée au laboratoire dans des tubes en plastique d'un mètre de longueur.



a. Photo site carottage (P. Valette)



b. Carte topo DTM 1 : 25 000 (ICEM)



c. Image ortho-photo 2011 (MNIR)



d. Localisation terrain (ArcGis)

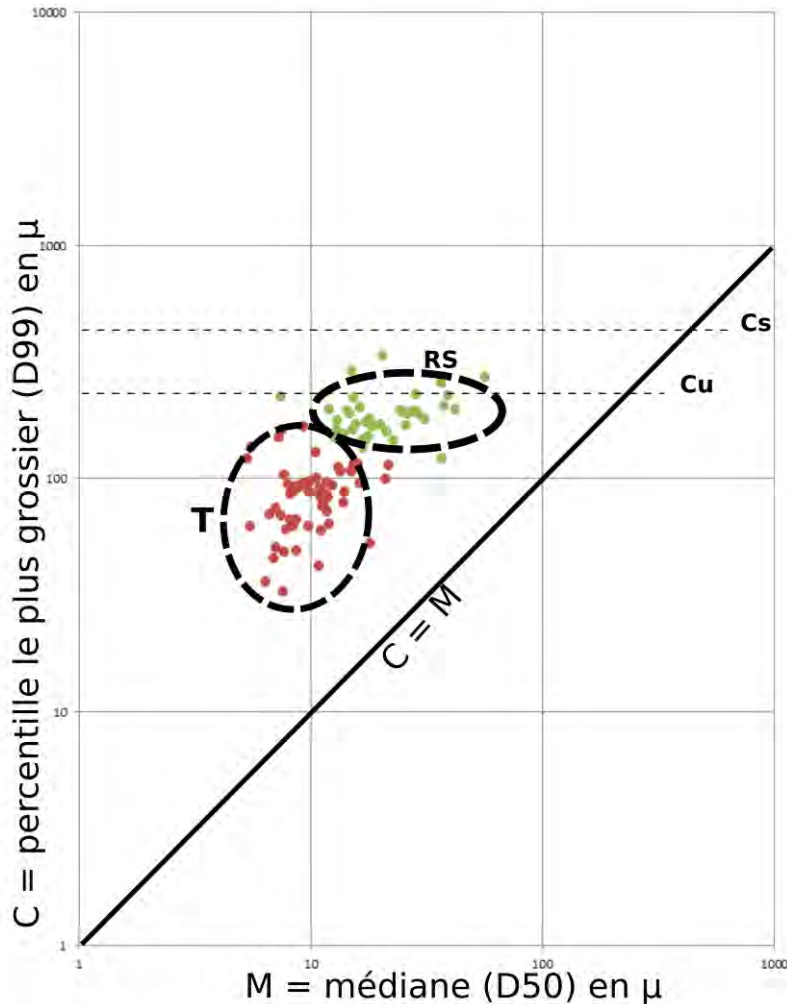
Fig.9.3 Localisation de la carotte Caz01

9.1.2 Description

101 échantillons ont été prélevés dans le laboratoire pour les analyses, ce qui donne en moyenne un pas d'échantillonnage de 10 cm, soit environ 10 échantillons par mètre. Des analyses de granulométrie et des pertes au feu ont été réalisées, ainsi que des mesures de susceptibilité magnétique et de spectrorimétrie (Fig.9.5). La chronologie de la carotte s'appuie sur 6 dates 14C.

9.1.3 Image CM

La projection des individus sur l'image CM (Fig.9.4) révèle des échantillons appartenant aux deux segments : dépôts de suspension uniforme, segment RS, et dépôts de suspension de type pélagique, segment T.



- Cs** - la taille maximale des particules transportées par suspension graduée
- Cu** - la taille maximale des particules transportées par suspension uniforme
- T** - suspension pélagique
- RS** - suspension uniforme

Fig.9.4 Diagramme C/M Caz01

9.1.4 Analyse et interprétation de la carotte Caz01

La séquence Caz01 s'organise en plusieurs unités :

L'unité 1, de 367 cm d'épaisseur, (-10 m à -6,33 m sous la surface topographique) correspond à un faciès Fm, formé exclusivement par des limons, avec un grain moyen qui oscille entre 6 et 16 microns. Trois sous-unités ont été distinguées eu égard au grain moyen, de la proportion des argiles, des sables et limons très grossiers et de la proportion des carbonates.

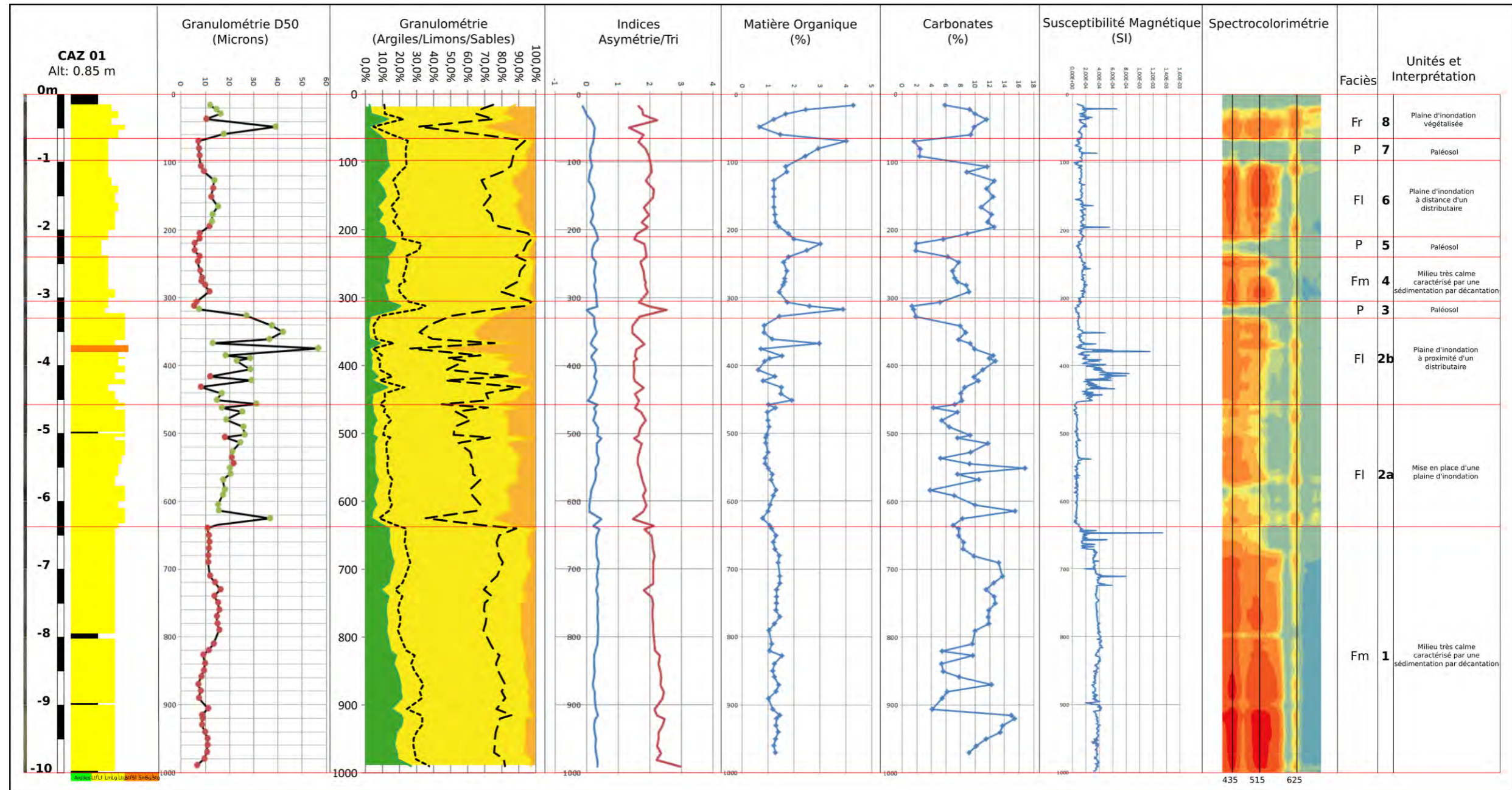


Fig.9.5 Résultats des analyses et interprétation de la carotte Caz01

La sous-unité 1a, de 175 cm d'épaisseur (-10 m à -8,25 m sous la surface topographique) correspond à un faciès Fm, avec un grain moyen qui oscille autour de 10 microns (de 6 à 11 microns). Les limons dominent cette unité, avec une moyenne de 75,8%, contre 19,5% argiles et 4,7% pour les sables. On note la proportion des limons très grossiers avec une moyenne de 16,2%. L'indice de tri varie de 2,15 à 2,99 ce qui indique des sédiments très peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs comprises entre 0,20 et 0,36 indiquant des échantillons asymétriques vers les fins en grande partie, et quelques échantillons très asymétriques vers les fins. La matière organique présente des valeurs assez stables, comprises entre 1% et 1,5%. La variation des carbonates est beaucoup plus importante, avec des valeurs situées entre 4% et 16%. La susceptibilité magnétique, avec une moyenne à $3,84^{E-04}$ S.I. présente des petites oscillations, avec des valeurs comprises entre $1,96^{E-04}$ S.I. et $4,11^{E-04}$ S.I..

La sous-unité 1b, de 120 cm d'épaisseur (-8,25 m à -7,05 m sous la surface topographique) correspond à un faciès Fm, avec un grain moyen qui oscille autour de 15 microns (de 11 à 16 microns). Les limons dominent cette unité, avec une moyenne de 80,1%, on constate la baisse des argiles à 12,8% et l'augmentation des sables à 7,2%, par rapport à la sous-unité 1a. On note l'augmentation de la proportion des limons très grossiers avec une moyenne de 20,7%. L'indice de tri varie de 1,80 à 2,18 ce qui indique des sédiments peu triés à très peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs comprises entre 0,28 et 0,37 indiquant principalement des échantillons asymétriques vers les fins. La matière organique présente des valeurs assez stables, comprises entre 1% et 1,5%. Les carbonates présentent une variation importante, avec une tendance à la hausse vers la partie supérieure de l'unité, et des valeurs situées entre 5% et 14%. La susceptibilité magnétique, avec une moyenne à $3,59^{E-04}$ S.I. présente des valeurs assez stables dans l'ensemble, mais avec quelques oscillations plus importantes, avec des valeurs comprises entre $8,02^{E-04}$ S.I. et $3,49^{E-04}$ S.I..

La sous-unité 1c, de 72 cm d'épaisseur (-7,05 m à -6,33 m sous la surface topographique) correspond à un faciès Fm, avec un grain moyen qui oscille autour de 11 microns (de 10,8 à 11,7 microns). Les limons dominent cette unité, avec une moyenne de 82%, contre 14,7% argiles et 3,3% pour les sables. On note la proportion de limons très grossiers avec une moyenne de 16,5%. L'indice de tri varie de 1,80 à 2,14 ce qui indique des sédiments peu triés à très peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs comprises entre 0,21 et 0,41 indiquant des échantillons asymétriques et très asymétriques vers les fins. La matière organique présente des valeurs assez stables, comprises entre 1% et 1,5%. Les carbonates présentent une variation importante, avec une tendance à la baisse vers la partie supérieure de l'unité, et des valeurs situées entre 6% et 14%. La susceptibilité magnétique, avec une moyenne à $2,54^{E-04}$ S.I. présente des variations très importantes, avec des valeurs comprises entre $4,50^{E-05}$ S.I. et $1,34^{E-03}$ S.I..

L'unité 1, est un milieu très calme, lacustre, caractérisé par une sédimentation par décantation.

L'unité 2, de 311 cm d'épaisseur, (-6,33 m à -3,22 m sous la surface topographique) correspond à un faciès Fl. Deux sous-unités ont été distinguées eu égard au grain moyen, de la proportion des sables et des limons très grossiers et de la proportion des carbonates.

La sous-unité 2a, de 173 cm d'épaisseur, (-6,33 m à -4,60 m sous la surface topographique) correspond à un faciès Fl, avec un grain moyen autour de 21 microns (de 15 à 36 microns). Les limons dominent cette unité, avec une moyenne de 81,3%, contre 13,3% sables et 5,4% pour les argiles. On note une proportion de limons très grossiers avec une moyenne de 25,8%. L'indice de tri varie de 1,40 à 1,90 ce qui indique des sédiments peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs comprises entre 0,08 et 0,46 indiquant des échantillons presque symétriques à très asymétriques vers les fins. La matière organique présente des valeurs assez stables, comprises entre 0,5% et 1,5%. Les carbonates présentent des variations importantes, avec des valeurs situées entre 4% et 17%. La susceptibilité magnétique est assez stable, avec une moyenne à $6,70^{E-05}$ S.I., et des valeurs comprises entre $2,18^{E-05}$ S.I. et $2,51^{E-04}$ S.I..

La sous-unité 2b, de 138 cm d'épaisseur, (-4,60 m à -3,22 m sous la surface topographique) correspond à un faciès Fl, caractérisé par une alternance de lits de limons moyens avec des limons très grossiers et sables fins. Le grain moyen autour de 26 microns avec des fortes variations (de 8 à 56 microns). Les limons dominent cette unité, avec une moyenne de 76%, contre 19,7% sables et 4,3% pour les argiles. On note une proportion de limons très grossiers avec une moyenne de 24,5%. L'indice de tri varie de 1,40 à 1,80 ce qui indique des sédiments peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs comprises entre 0,03 et 0,33 indiquant des échantillons presque symétriques à très asymétriques vers les fins. La matière organique présente des variations importantes, comprises entre 0,5% et 3%. Les carbonates présentent des variations, avec des valeurs situées entre 2% et 13%. La susceptibilité magnétique présente de fortes variations, avec une moyenne à $2,36^{E-04}$ S.I., et des valeurs comprises entre $7,60^{E-05}$ S.I. et $1,15^{E-03}$ S.I..

L'unité 2 correspond à la mise en place d'une plaine d'inondation et à une plaine d'inondation à proximité d'un distributaire.

L'unité 3, de 13 cm d'épaisseur, (-3,22 m à -3,09 m sous la surface topographique) correspond à un faciès P, avec un grain moyen autour de 6 microns (de 5 à 7 microns). Les limons dominent cette unité, avec une moyenne de 77,5%, contre 17,1% argiles et 5,4% pour les sables. On note la proportion des limons très grossiers avec une moyenne de 5,2%. L'indice de tri varie de 1,65 à 2,54 ce qui indique des sédiments peu triés et très peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs comprises entre 0,01 et 0,34 indiquant des échantillons presque symétriques à très asymétriques vers les fins. La matière organique présente un pic avec des valeurs comprises entre 1,5% et 4%, tandis que les carbonates ont des valeurs très basses situées à moins de 2%. La susceptibilité magnétique est assez stable, avec une moyenne à $7,03^{E-05}$ S.I., et des valeurs comprises entre $4,24^{E-05}$ S.I. et $1,12^{E-04}$ S.I..

L'unité 3 correspond à un paléosol.

L'unité 4, de 69 cm d'épaisseur, (-3,09 m à -2,40 m sous la surface topographique) correspond à un faciès Fm, avec un grain moyen autour de 8,5 microns (de 6 à 11 microns). Les limons dominent cette unité, avec une moyenne de 85,5%, contre 12,4% argiles et 2,1% pour les sables. On note la proportion des limons très grossiers avec une moyenne de 9,3%. L'indice de tri varie de 1,65 à 1,94 ce qui indique des sédiments peu triés. L'indice

d'asymétrie a des valeurs comprises entre 0,17 et 0,32 indiquant des échantillons presque symétriques et asymétriques vers les fins. La matière organique avec peu de variations, a des valeurs situées autour de 1,5%. Les carbonates ont des valeurs situées entre 6% et 10%. La susceptibilité magnétique a des petites variations, avec une moyenne à $1,56^{E-05}$ S.I., et des valeurs comprises entre $9,26^{E-05}$ S.I. et $2,70^{E-04}$ S.I.

L'unité 4 correspond à un milieu très calme, caractérisé par une sédimentation par décantation.

L'unité 5, de 35 cm d'épaisseur, (-2,40 m à -2,05 m sous la surface topographique) correspond à un faciès P, avec un grain moyen situé entre 5,5 à 7,6 microns. Les limons dominant cette unité, avec une moyenne de 84,2%, contre 13,9% argiles et 1,9% pour les sables. On note la proportion des limons très grossiers avec une moyenne de 4,3%. L'indice de tri varie de 1,52 à 1,87 ce qui indique des sédiments peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs comprises entre 0,18 et 0,36 indiquant des échantillons asymétriques vers les fins et très asymétriques vers les fins. La matière organique présente un pic avec des valeurs comprises entre 2% et 3%, tandis que les carbonates ont des valeurs basses situées entre de 2% et 8%. La susceptibilité magnétique est assez stable, avec une moyenne à $1,21^{E-04}$ S.I., et des valeurs comprises entre $6,09^{E-05}$ S.I. et $1,43^{E-04}$ S.I..

L'unité 5 correspond également à un paléosol.

L'unité 6, de 99 cm d'épaisseur, (-2,05 m à -1,06 m sous la surface topographique) correspond à un faciès F1, avec un grain moyen autour de 12 microns (de 8 à 15 microns). Les limons dominant cette unité, avec une moyenne de 81%, contre 9,6% sables et 9,4% pour les argiles. On note la proportion des limons très grossiers avec une moyenne de 16,8%. L'indice de tri varie de 1,75 à 2,14 ce qui indique des sédiments peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs comprises entre 0,07 et 0,25 indiquant des échantillons presque symétriques et asymétriques vers les fins. La matière organique a des valeurs très basses situées en général entre 1% et 1,5%. Les carbonates ont des valeurs situées entre de 8% et 15%. La susceptibilité magnétique a quelques variations, avec une moyenne à $1,41^{E-06}$ S.I., et des valeurs comprises entre $4,96^{E-05}$ S.I. et $5,54^{E-04}$ S.I..

L'unité 6 correspond à une plaine d'inondation située à distance d'un distributaire.

L'unité 7, de 41 cm d'épaisseur, (-1,06 m à -0,65 m sous la surface topographique) correspond à un faciès P, avec un grain moyen situé autour de 7 microns. Les limons dominant cette unité, avec une moyenne de 83,4%, contre 12,6% argiles et 4% pour les sables. On note la proportion des limons très grossiers avec une moyenne de 7,4%. L'indice de tri varie de 1,63 à 1,98 ce qui indique des sédiments peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs comprises entre 0,11 et 0,22 indiquant des échantillons asymétriques vers les fins. La matière organique présente un pic avec des valeurs comprises entre 2% et 4%, tandis que les carbonates ont des valeurs basses situées autour de 2%. La susceptibilité magnétique est assez stable, avec une moyenne à $1,11^{E-04}$ S.I., et des valeurs comprises entre $2,98^{E-05}$ S.I. et $3,66^{E-04}$ S.I.. L'unité 7 a été interprétée comme un paléosol.

L'unité 8, de 65 cm d'épaisseur, (-0,65 m à la surface topographique) correspond à un faciès Fr, avec un grain moyen qui oscille entre 7 et 38 microns. Les limons sont majoritaires avec une moyenne de 78,5%, contre 16,5% sable et 5,1% argiles. L'indice de tri varie de 1,33 à 2,24 ce qui indique des sédiments peu triés à très peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs comprises entre -0,11 et 0,26 indiquant des échantillons presque symétriques et asymétriques vers les fins. Les valeurs les plus élevées de la carotte pour la matière organique sont enregistrées dans cette unité avec des variations situées entre 0,5% et 4,5%. Les carbonates ont les valeurs assez élevés, comprises entre 6% et 12%. On note la présence de restes végétaux et de coquilles fragmentées. Ce niveau est caractérisé par un mélange des sols noir-brun et des limons, avec des restes végétaux et de rares coquilles. La susceptibilité magnétique, avec une moyenne à $1,59^{E-04}$ S.I. présente des variations importantes, avec des valeurs comprises entre $8,60^{E-05}$ S.I. et $6,64^{E-04}$ S.I..

L'unité 8 correspond à un milieu de plaine d'inondation végétalisée. Cette unité est bouleversée par la réalisation du canal Cazanel dans la période 1960-1970.

9.1.5 Datations

6 échantillons de la carotte Caz01 ont été datés. 5 échantillons ont été composés par le sédiment organique, et un seul de charbon.

| Nom | Age 14C | Matériel | Calibration 1 | Calibration 2 |
|---------------|-------------|--------------------|---------------|---------------|
| Caz01_223-224 | 2 245±30 BP | Sédiment organique | -381/-231 | -393/-206 |
| Caz01_320-321 | 2 875±35 BP | Sédiment organique | -1 112/-1 006 | -1 192/-931 |
| Caz01_365 | 6 040±40 BP | Charbon | -4 998/-4 851 | -5 047/-4 836 |
| Caz01_464 | 4 455±30 BP | Sédiment organique | -3 323/-3 027 | -3 340/-2 945 |
| Caz01_584 | 5 915±35 BP | Sédiment organique | -4 829/-4 729 | -4 895/-4 711 |
| Caz01_637-638 | 9 390±50 BP | Sédiment organique | -8 741/-8 618 | -8 793/-8 551 |

Tableau 9.1 Datations carotte Caz01

Le troisième échantillon daté, situé dans l'unité 2, à une profondeur de -3,65m a donné une date aberrante, mais les 5 autres dates sont dans l'ordre chronologique. La date la plus ancienne des échantillons analysés se situe à la base de la carotte, à -6,37 mètres de profondeur, et donne la valeur 9 390±50 BP, ce qui correspond, après une calibration 2 sigma, à -8 793/-8 551.

9.2 Carotte Caz02

9.2.1 Localisation

La carotte Caz02 a été prélevée dans un méandre abandonné par la migration du Bras Sulina vers le sud, sur la rive gauche d'un canal creusé dans les années 1960 (Fig.9.6). Elle mesure 9 m de longueur et son point de départ est situé à une altitude de 1,24 mètres. Le carottage a été effectué avec une gouge fermée et la colonne sédimentaire a été transportée au laboratoire dans des tubes en plastique d'un mètre de longueur.



a. Photo site carottage



b. Carte topo DTM 1 : 25 000 (ICEM)



c. Image ortho-photo 2011 (MNIR)



d. Localisation terrain (ArcGis)

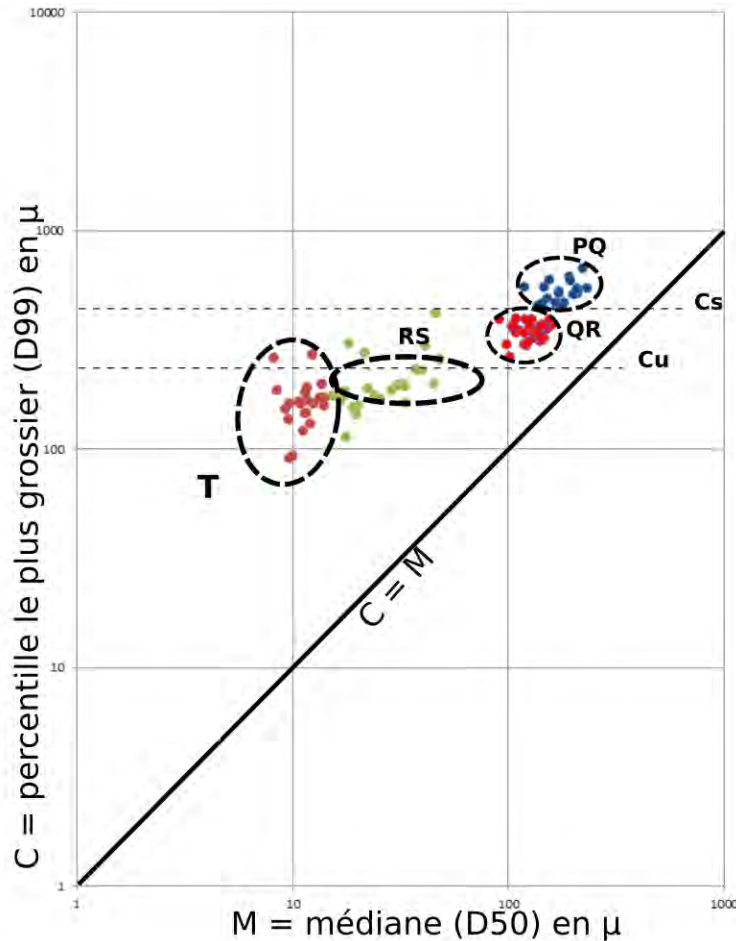
Fig.9.6 Localisation de la carotte Caz02

9.2.2 Description

107 échantillons ont été prélevés dans le laboratoire pour les analyses, ce qui donne en moyenne un pas d'échantillonnage de 8,4 cm, soit environ 12 échantillons par mètre. Des analyses de granulométrie et des pertes au feu ont été réalisées, ainsi que des mesures de susceptibilité magnétique et de spectrorimétrie (Fig.9.8). La chronologie de la carotte s'appuie sur 6 dates 14C.

9.2.3 Image CM

La projection des individus sur l'image CM (Fig.9.7) révèle des échantillons appartenant aux quatre segments : dépôts de roulage – segment PQ ; dépôts de suspension graduée – segment QR ; dépôts de suspension uniforme -segment RS ; et dépôts de suspension de type pélagique -segment T.



- Cs** - la taille maximale des particules transportées par suspension graduée
- Cu** - la taille maximale des particules transportées par suspension uniforme
- T** - suspension pélagique
- RS** - suspension uniforme
- QR** - suspension graduée
- PQ** - roulage

Fig.9.7 Diagramme C/M Caz02

9.2.4 Analyse et interprétation de la carotte Caz02

La séquence Caz02 s'organise en plusieurs unités :

L'unité 1, de 100 cm d'épaisseur, (-9,00 m à -8,00 m sous la surface topographique) correspond à un faciès Sm, avec un grain moyen autour de 195 microns (de 120 à 386 microns). Les sables dominent cette unité, avec une moyenne de 78,3%, contre 21% limons et 0,7% pour les argiles.

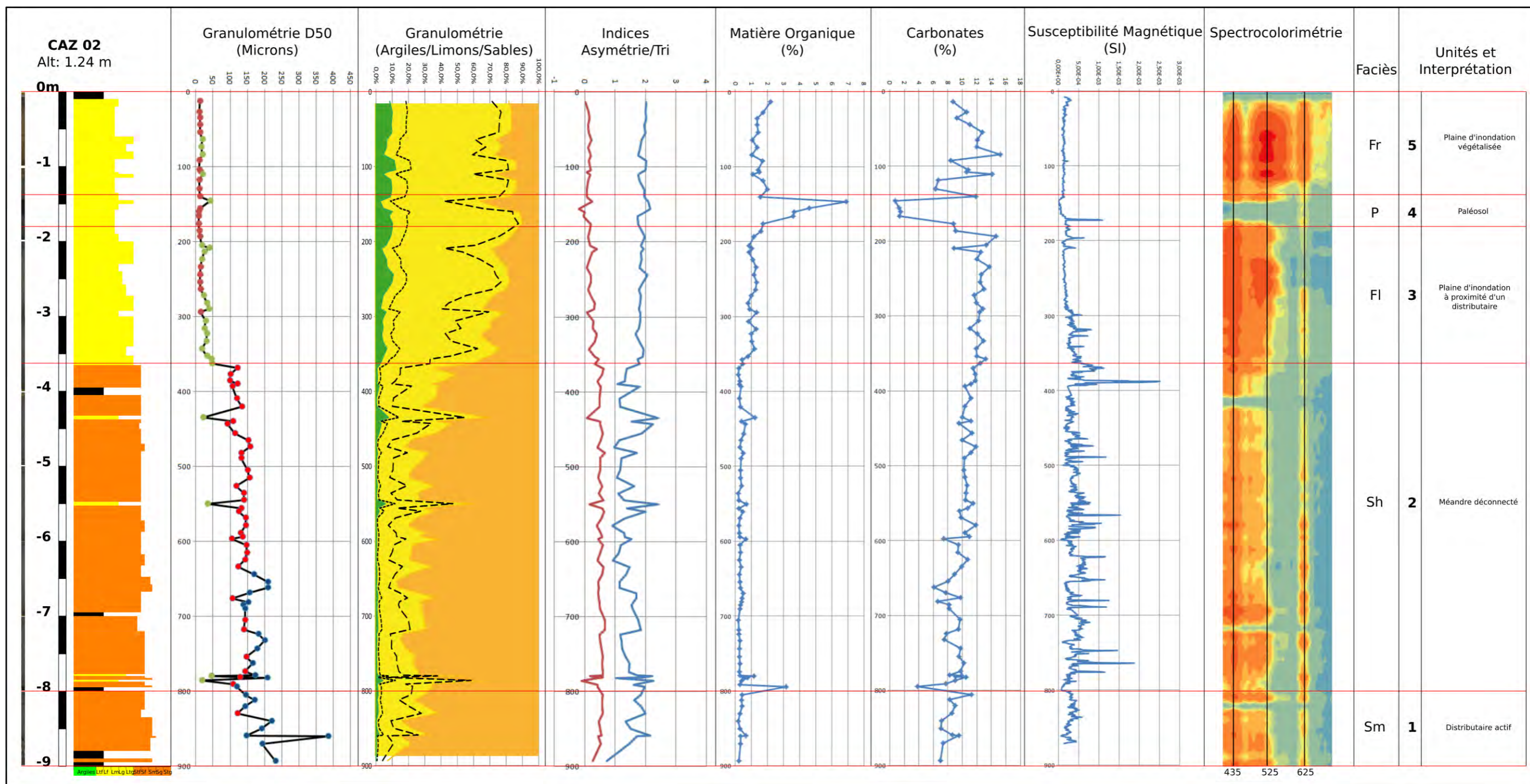


Fig.9.8 Résultats des analyses et interprétation de la carotte Caz02

L'indice de tri varie de 0,73 à 2,17 ce qui indique des sédiments assez peu triés à très peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs comprises entre 0,27 et 0,60 indiquant des échantillons asymétriques vers les fins et très asymétriques vers les fins. La matière organique présente des valeurs basses très stables, situées à moins de 0,5%. Les carbonates présentent des variations, avec des valeurs situées entre 6% et 12%. La susceptibilité magnétique est assez stable, avec une moyenne à $2,98^{E-04}$ S.I., et des valeurs comprises entre $6,68^{E-05}$ S.I. et $5,90^{E-04}$ S.I.

L'unité 1, un faciès de dépôts de chenaux, correspond à un milieu d'un distributaire actif.

L'unité 2, de 435 cm d'épaisseur, (-8,00 m à -3,65 m sous la surface topographique) correspond à un faciès Sh, faciès qui présente une alternance de lits de sables fins avec des limons fins à grossiers. Le grain moyen est situé autour de 133 microns (de 21 à 209 microns). Les sables sont aussi dominants dans cette unité, avec une moyenne de 76%, contre 23% limons et 1% pour les argiles. L'indice de tri varie de 0,93 à 2,41 ce qui indique des sédiments assez peu triés à très peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs comprises entre -0,10 et 0,66 indiquant des échantillons presque symétriques à très asymétriques vers les fins. La matière organique présente des valeurs assez stables et basses, situées en général à moins de 0,5%, avec quelques pics qui dépassent cette valeur pour les passages avec une granulométrie moins importante. Les carbonates présentent des variations importantes, avec des valeurs situées entre 4% et 12%. La susceptibilité magnétique est assez stable, avec une moyenne à $4,25^{E-04}$ S.I., et des valeurs comprises entre $6,15^{E-05}$ S.I. et $4,17^{E-03}$ S.I.

L'unité 2 correspond au fonctionnement d'un bras mort, avec des connexions et déconnexions.

L'unité 3, de 190 cm d'épaisseur, (-3,65 m à -1,75 m sous la surface topographique) correspond à un faciès Fl, avec un grain moyen autour de 24 microns (de 9 à 48 microns). Les limons dominent cette unité, avec une moyenne de 72,5%, contre 21,7% sables et 5,8% pour les argiles. L'indice de tri varie de 1,66 à 2,06 ce qui indique des sédiments peu triés et très peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs comprises entre 0,08 et 0,46 indiquant des échantillons presque symétriques à très asymétriques vers les fins. La matière organique présente des valeurs un peu plus élevées que dans l'unité 2 assez stables, situées autour de 1%. Les carbonates présentent des variations, avec des valeurs situées entre 8% et 15%. La susceptibilité magnétique est assez stable, avec une moyenne à $2,50^{E-04}$ S.I., et des valeurs comprises entre $1,49^{E-04}$ S.I. et $6,40^{E-04}$ S.I.

L'unité 3 correspond à un milieu de plaine inondable à proximité d'un distributaire.

L'unité 4, de 33 cm d'épaisseur, (-1,75 m à -1,43 m sous la surface topographique) correspond à un faciès P, avec un grain moyen autour de 17,5 microns (de 8 à 41 microns). Les limons dominent cette unité, avec une moyenne de 73%, contre 20,8% sables et 6,2% pour les argiles. L'indice de tri varie de 1,73 à 2,16 ce qui indique des sédiments peu triés à très peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs comprises entre -0,19 et 0,25 indiquant des échantillons asymétriques vers les grossiers à asymétriques vers les fins. La matière organique

présente des valeurs assez stables, comprises entre 0,5% et 1,5%. Les carbonates présentent des variations importantes, avec des valeurs situées entre 4% et 17%. La susceptibilité magnétique est assez stable, avec une moyenne à $1,13^{E-04}$ S.I., et des valeurs comprises entre $4,64^{E-06}$ S.I. et $1,09^{E-03}$ S.I..

L'unité 4 correspond à un paléosol.

L'unité 5, de 143 cm d'épaisseur, (-1,43 m à la surface topographique) correspond à un faciès Fr, avec un grain moyen autour de 21 microns (de 15 à 36 microns). Les limons dominent cette unité, avec une moyenne de 80,5%, contre 11,1% sables et 8,4% pour les argiles. L'indice de tri varie de 1,76 à 2,03 ce qui indique des sédiments peu triés et très peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs comprises entre 0,01 et 0,23 indiquant des échantillons presque symétriques et asymétriques vers les fins. La matière organique présente des valeurs assez stables, comprises entre 1% et 2%. Les carbonates présentent des variations plus importantes, avec des valeurs situées entre 6% et 16%. On note la présence de restes végétaux et des coquilles fragmentées. La susceptibilité magnétique est assez stable, avec une moyenne à $1,41^{E-04}$ S.I..

L'unité 5, milieu d'une plaine d'inondation végétalisée correspond au niveau bouleversé par la réalisation du Canal Cazanel dans la période 1960-1970.

9.2.5 Datations

6 échantillons de la carotte Caz02 ont été datés. Les matériaux utilisés pour toutes les datations ont été assez variés : sédiment organique, restes végétaux, bois et charbon.

| Nom | Age 14C | Matériel | Calibration 1 | Calibration 2 |
|---------------|-------------|--------------------|---------------|---------------|
| Caz02_150-151 | 210±30 BP | Sédiment organique | 1651 | 1646 |
| Caz02_450-452 | 570±35 BP | Restes végétaux | 1318/1413 | 1300/1427 |
| Caz02_552 | 800±30 BP | Bois | 1220/1261 | 1184/1275 |
| Caz02_691 | 2 305±30 BP | Charbon | -402/-372 | -409/-235 |
| Caz02_784 | 4 080±35 BP | Sédiment organique | -2 836/-2 504 | -2 861/-2 491 |
| Caz02_863-864 | 6 010±35 BP | Bois | -4 942/-4 847 | -4 996/-4 802 |

Tableau 9.2 Datations carotte Caz02

Les dates obtenues sont dans l'ordre chronologique, avec la date la plus ancienne située à la base de la carotte, dans l'unité 1, à -8,63 mètres de profondeur, qui a donné la valeur 6010±35 BP, ce qui correspond, après une calibration 2 sigma, à -4996-4802.

9.3 Carotte Mila

9.3.1 Localisation

La carotte Mila 23 a été prélevée au cœur de la bande de méandrage historique du chenal de Sulina (Fig9.9). Plus exactement, il se localise dans un ancien méandre qui a été artificiellement déconnecté par les travaux de la CED. La réalisation de ce carottage visait plusieurs objectifs : 1) permettre la reconstitution d'un référentiel sur le fonctionnement d'un chenal Sulina avant sa déconnection, notamment en terme de taille des éléments transportés et de calcul de la force tractrice ; 2) permettre de documenter l'évolution du chenal et les étapes de son comblement suite à sa déconnexion et 3) estimer l'épaisseur de la couverture alluviale récente dans le secteur de Mila.

La localisation du sondage a été choisie en fonction des données historiques disponibles sur la réalisation des travaux et de l'accessibilité de la zone. La documentation historique permet d'estimer l'allure générale du méandre avant son rescindement.



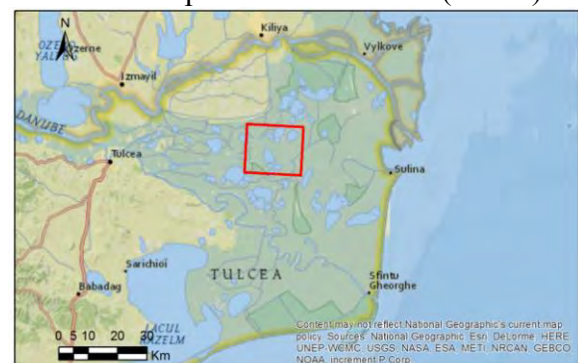
a. Photo site carottage



b. Carte topo DTM 1 : 25 000 (ICEM)



c. Image ortho-photo 2011 (MNIR)



d. Localisation terrain (ArcGis)

Fig.9.9 Localisation de la carotte Mila

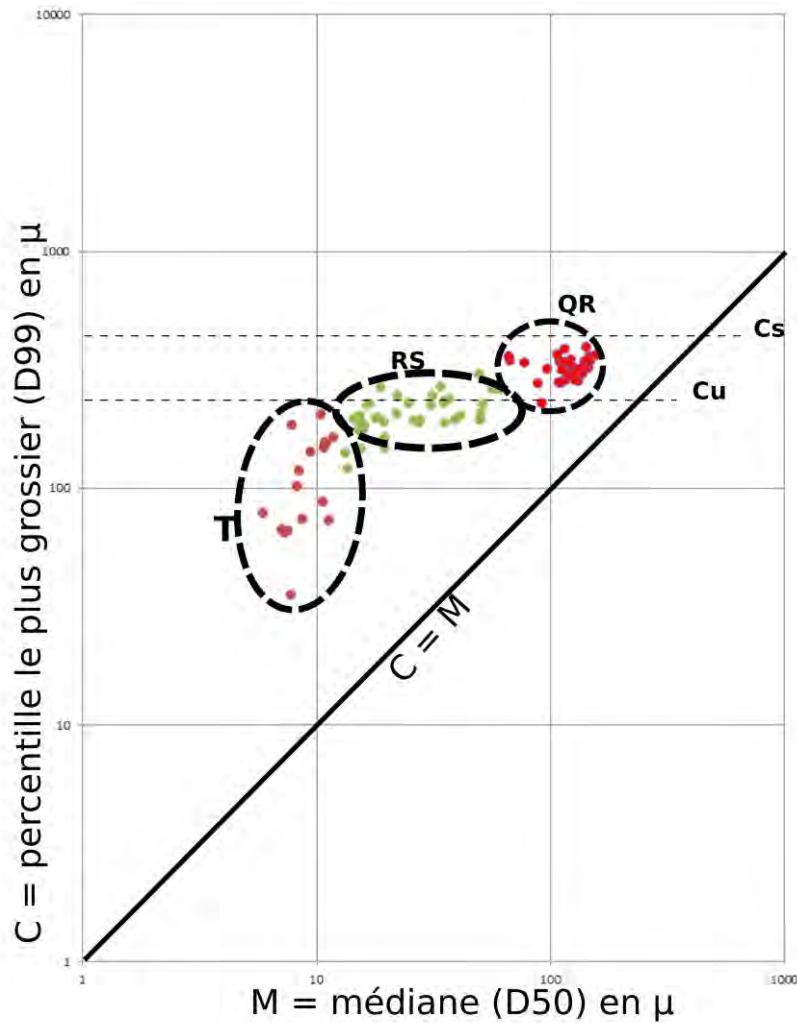
9.3.2 Description

99 échantillons ont été prélevés dans le laboratoire pour les analyses, ce qui donne en moyenne un pas d'échantillonnage de 8 cm, soit environ 12 échantillons par mètre. Des analyses de granulométrie et des pertes au feu ont été réalisées, ainsi que des mesures de

susceptibilité magnétique et de spectrocolorimétrie (Fig.9.11). La chronologie de la carotte s'appuie sur deux dates ^{14}C .

9.3.3 Image CM

La projection des individus sur l'image CM (Fig.9.10) révèle des échantillons appartenant aux trois segments : dépôts de suspension graduée – segment QR ; dépôts de suspension uniforme -segment RS ; et dépôts de suspension de type pélagique -segment T.



- Cs** - la taille maximale des particules transportées par suspension graduée
- Cu** - la taille maximale des particules transportées par suspension uniforme
- T** - suspension pélagique
- RS** - suspension uniforme
- QR** - suspension graduée

Fig.9.10 Diagramme C/M Mila

9.3.4 Analyse et interprétation de la carotte Mila

La séquence Mila montre la succession suivante :

L'unité 1, de 70 cm d'épaisseur, (-8,00 m à -7,30 m sous la surface topographique) correspond à un faciès Sm, avec un grain moyen qui oscille autour de 123 microns (112 et 133 microns). Les sables sont majoritaires avec une moyenne de 80,5%, contre 19% limons et 0,5% argiles. L'indice de tri varie de 1,07 à 1,79 ce qui indique des sédiments peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs comprises entre 0,46 et 0,69 indiquant des échantillons très asymétriques vers les fins. La matière organique a des valeurs très basses, comprises entre 0,5% et 1%. Les carbonates présentent des petites variations de 8% à 10%. La susceptibilité magnétique, avec une moyenne à $4,41^{E-04}$ S.I. présente des variations, avec des valeurs comprises entre $1,46^{E-04}$ S.I. et $7,68^{E-04}$ S.I.

L'unité 1 correspond à un milieu d'un distributaire actif.

L'unité 2, de 350 cm d'épaisseur, (-7,30 m à -3,80 m sous la surface topographique) correspond à un faciès Sh, faciès qui présente une alternance de lits de sables et des limons. Deux sous-unités ont été distinguées eu égard principalement au grain moyen.

La sous-unité 2a, de 173 cm d'épaisseur, (-7,30 m à -5,57 m sous la surface topographique) a un grain moyen autour de 114 microns (de 8 à 144 microns). Les sables dominent cette sous-unité, avec une moyenne de 74,8%, contre 24,4% limons et 0,8% pour les argiles. L'indice de tri varie de 0,88 à 2,23 ce qui indique des sédiments assez peu triés à très peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs comprises entre -0,02 et 0,65 indiquant des échantillons presque symétriques à très asymétriques vers les fins. Les valeurs de la matière organique restent assez basses, à moins de 0,5%, mais présentent quelques pics avec des valeurs jusqu'à 2% pour les passages avec une granulométrie moins importante. Les carbonates présentent des petites variations, avec des valeurs situées entre 4% et 10%. La susceptibilité magnétique a des variations importantes, avec une moyenne à $4,56^{E-04}$ S.I., et des valeurs comprises entre $1,30^{E-04}$ S.I. et $1,54^{E-03}$ S.I.

La sous-unité 2b, de 177 cm d'épaisseur, (-5,57 m à -3,80 m sous la surface topographique) a un grain moyen autour de 98 microns (de 8 à 157 microns). Les sables sont toujours dominants dans cette sous-unité, avec une moyenne de 67,5%, contre 30,1% limons et 2,4% pour les argiles. L'indice de tri varie de 0,83 à 2,19 ce qui indique des sédiments assez peu triés à très peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs comprises entre 0,05 et 0,56 indiquant des échantillons presque symétriques à très asymétriques vers les fins. La matière organique présente des valeurs assez basses, situées en général à moins de 1%, avec des pics positifs pour les passages limoneux qui s'approchent de 2%. Les carbonates sont assez stables, avec des valeurs situées entre 8% et 11%. La susceptibilité magnétique présente de fortes variations, avec une moyenne à $5,33^{E-04}$ S.I., et des valeurs comprises entre $1,88^{E-04}$ S.I. et $2,83^{E-04}$ S.I.

L'unité 2 correspond au fonctionnement d'un méandre déconnecté.

L'unité 3, de 239 cm d'épaisseur, (-3,80 m à -1,41 m sous la surface topographique) correspond à un faciès Fl, faciès caractérisé par une alternance de lits de sables avec des limons argileux, et un grain moyen autour de 30 microns (de 7 à 92 microns). Les limons dominent cette unité, avec une moyenne de 65,7%, contre 28,8% sables et 5,5% pour les argiles. L'indice de tri varie de 1,64 à 2,26 ce qui indique des sédiments peu triés et très peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs comprises entre 0,06 et 0,47 indiquant des échantillons presque symétriques à très asymétriques vers les fins. La matière organique présente des valeurs un peu plus élevées que dans l'unité 2 comprises entre 0,5% et 2,5%. Les carbonates restent assez stables, avec des variations entre 6% et 11%. La susceptibilité magnétique a encore des variations importantes, avec une moyenne à $3,97^{E-04}$ S.I., et des valeurs comprises entre $1,82^{E-04}$ S.I. et $2,11^{E-03}$ S.I.

L'unité 3 correspond au milieu d'une plaine inondable à proximité d'un distributaire.

L'unité 4, de 70 cm d'épaisseur, (-1,41 m à -0,71 m sous la surface topographique) correspond à un faciès Fm, avec un grain moyen autour de 8,5 microns (de 6 à 12 microns). Les limons dominent cette unité, avec une moyenne de 81,3%, contre 12,5% argiles et 6,2% pour les sables. L'indice de tri varie de 1,81 à 2,06 ce qui indique des sédiments peu triés et très peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs comprises entre -0,01 et 0,24 indiquant des échantillons presque symétriques et asymétriques vers les fins. La matière organique présente des valeurs assez élevées pour la carotte, situées entre 0,5% et 3,5%. Les carbonates présentent des variations, avec des valeurs situées entre 4% et 10%. La susceptibilité magnétique est assez stable, avec une moyenne à $2,01^{E-04}$ S.I.

L'unité 4 correspond à un milieu très calme, caractérisé par une sédimentation par décantation.

L'unité 5, entre la surface et 0,71 m de profondeur (-0,71 m à la surface topographique) correspond à un faciès Fr. avec un grain moyen autour de 15 microns (de 11 à 19 microns). Les limons dominent cette unité, avec une moyenne de 78,7%, contre 16,3% sables et 5% pour les argiles. L'indice de tri varie de 1,81 à 1,96 ce qui indique des sédiments peu triés. L'indice d'asymétrie a des valeurs comprises entre -0,01 et 0,23 indiquant des échantillons presque symétriques et asymétriques vers les fins. La matière organique présente des valeurs assez élevées avec des variations situées entre 1% et 3,5%. Les carbonates présentent des variations importantes, avec des valeurs situées entre 4% et 18%. On note la présence de restes végétaux et des coquilles fragmentées. La susceptibilité magnétique est assez stable, avec une moyenne située à $2,52^{E-04}$ S.I.

L'unité 5 correspond à un milieu d'une plaine d'inondation végétalisée.

9.3.5 Datations

2 échantillons de la carotte Mila ont été datés, situés tous les deux dans l'unité 2. Les matériaux utilisés pour toutes les datations ont été le sédiment organique et le bois.

La datation supérieure est aberrante et ne peut pas être prise en compte. En revanche la datation obtenue à la base sur un fragment de bois donne un âge cohérent (1445-1616 EC).

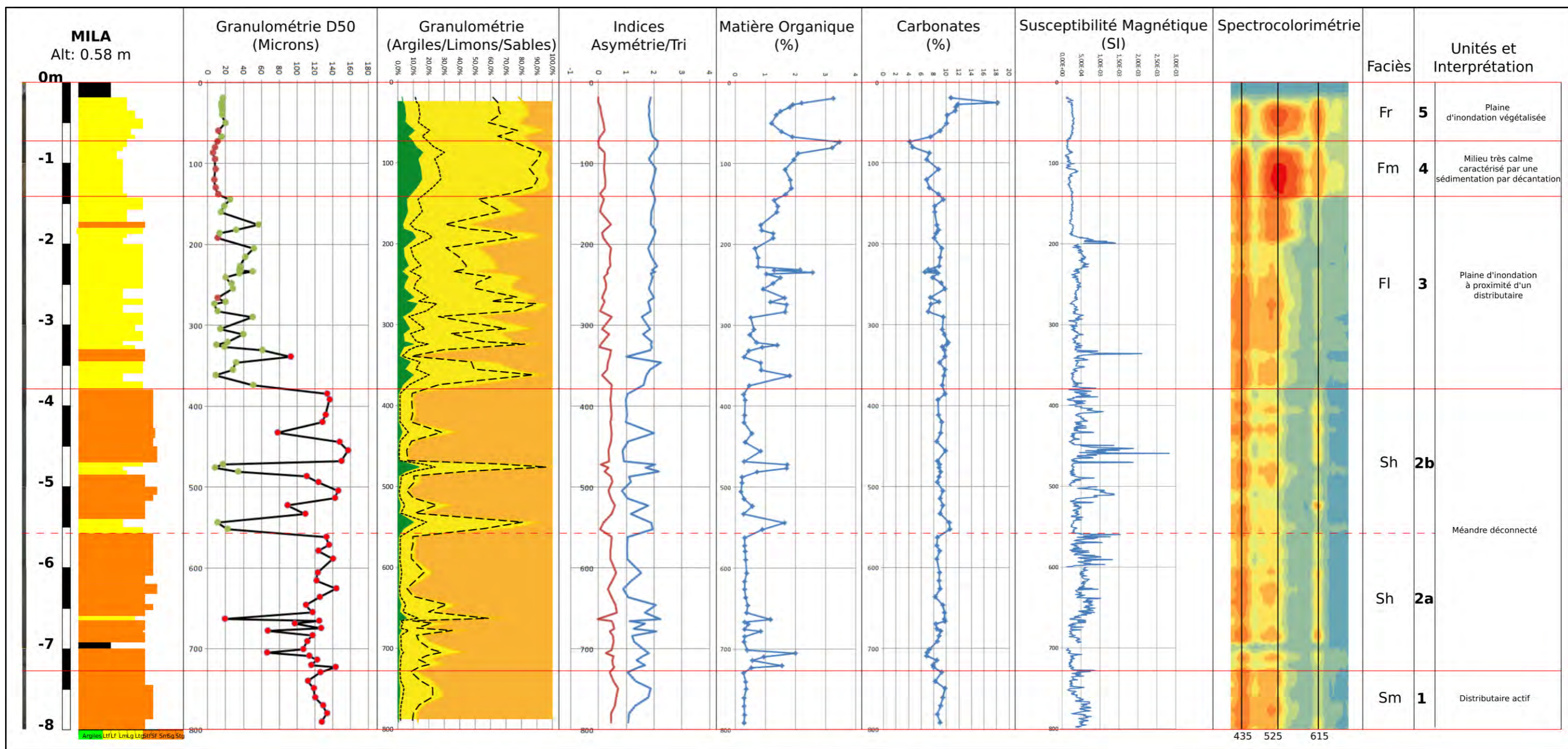


Fig.9.11 Résultats des analyses et interprétation de la carotte Mila

Il atteste qu'entre la seconde moitié du XV^{ème} et le début du XVII^{ème} siècle le chenal qui a été sondé connaissait un colmatage par une charge abondante sableuse. Il est probable que la diminution brutale de la granulométrie soit associée à la déconnection artificielle du chenal entre 1858 et 1869 (carte Spatt, CED, 1931), ce qui permet d'attribuer l'ensemble de la séquence sableuse à la période du Petit Âge Glaciaire au sens chronologique.

| Nom | Age 14C | Matériel | Calibration 1 | Calibration 2 |
|--------------|-------------|--------------------|---------------|---------------|
| Mila_549-550 | 3 745±35 BP | Sédiment organique | -2 203/-2 051 | -2 280/-2 035 |
| Mila_706-707 | 395±30 BP | Bois | 1445/1616 | 1439/1628 |

Tableau 9.3 Datations carotte Mila

Conclusion du chapitre 9

Trois sites ont été sondés dans la région « Les Méandres de Mila » : Caz01, Caz02 et Mila. Les sondages effectués ciblaient les paléochénaux du Bras Sulina. Si le carottage Mila est localisé sur un méandre déconnecté par la CED dans le but de l'amélioration de la navigation, les carottages Caz 01 et Caz02 sont localisés sur les berges du Canal Cazanel, canal creusé dans les années 1970 pour faciliter l'accès des bateaux chargés de l'exploitation du roseau.

La séquence de Caz01 montre une succession de 3 grands milieux de dépôt. La base est représentée par une séquence de faible énergie, dominée par la décantation. Il pourrait s'agir d'un milieu palustre de type *backswamp*. La séquence intermédiaire montre une augmentation du grain moyen et de l'énergie qui correspond à une formation de levée de berge, voire de chenal. Enfin l'unité supérieure marque un retour à des conditions plus calmes là aussi de type marais en arrière d'une levée.

La séquence de Caz02 est beaucoup plus grossière. Elle enregistre la migration depuis le chenal vers des milieux de berges (levée) et enfin de marais d'arrière levée.

Les deux carottages enregistrent donc la migration du système méandrique vers le sud-ouest. Vers ca. 4 800 AEC, le chenal est localisé au niveau de Caz2 et est incisé dans des formations pré-deltaïques argileuses dont l'âge est estimé vers 8 700 AEC. La charge solide du chenal est essentiellement sableuse.

Le système chenal/levée migre ensuite vers le sud-ouest probablement jusque vers 3 000 AEC. Il existe ensuite un hiatus, lié à la mise en place du second faisceau qui induit une phase d'érosion. La sédimentation semble reprendre vers 300 AEC. Une grande partie de la topographie résiduelle est ensuite colmatée au cours du dernier millénaire (après 1 250 EC).

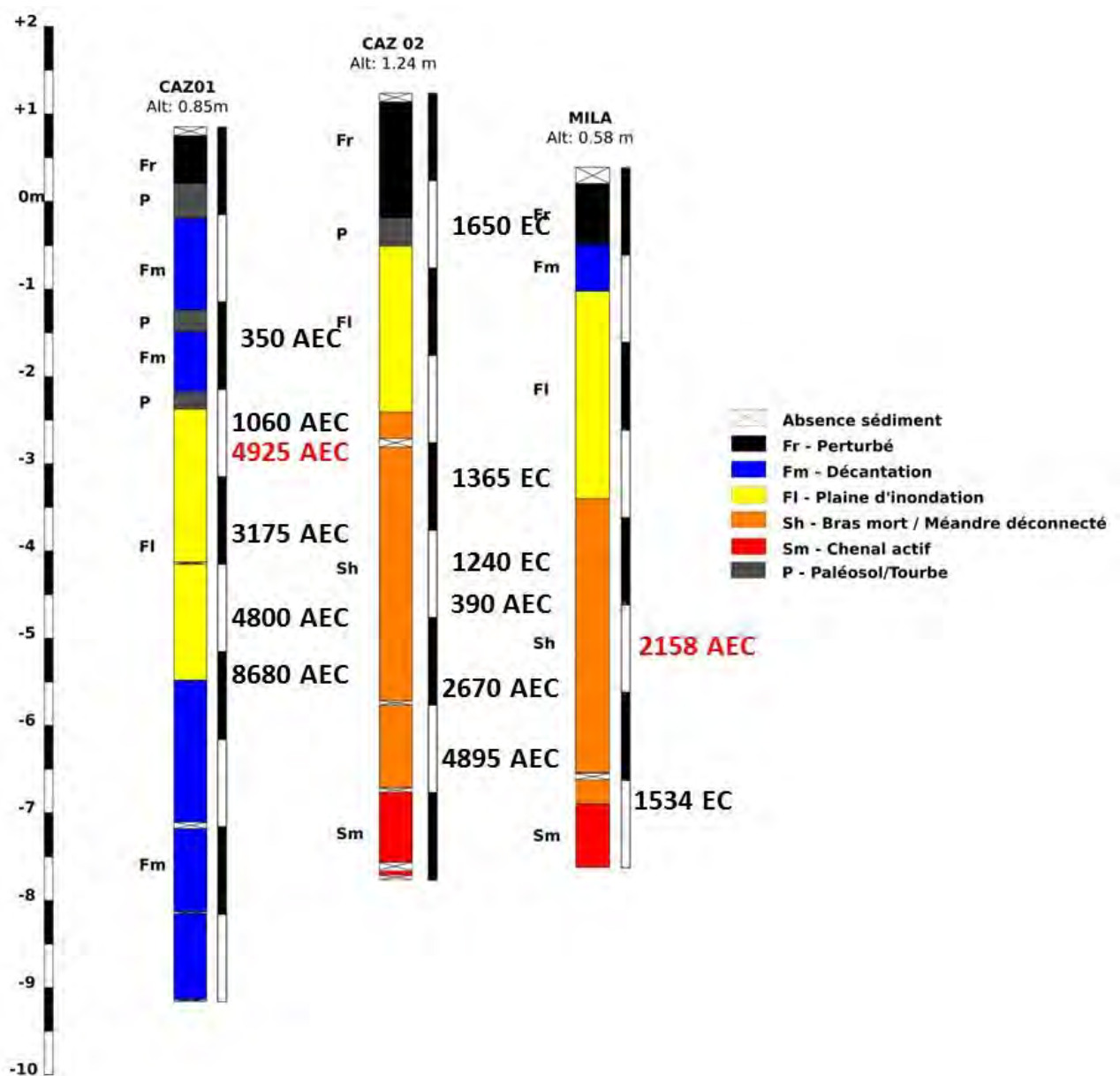


Fig.9.12 Logs des carottes dans la région « Les méandres de Mila »

La séquence Mila montre une évolution globalement grano-décroissante, qui traduit le colmatage progressif du chenal. À la base, la charge est principalement sableuse, le grain moyen présentant une valeur autour de 125 µm, ce qui suggère l'existence d'un chenal encore actif. La partie centrale de la séquence est marquée par une alternance entre niveaux sableux et niveaux argileux et organiques, qui attestent d'un fonctionnement plus intermittent du chenal, qui poursuit son colmatage. L'unité supérieure est caractérisée par une diminution brutale de la compétence des écoulements et l'arrêt des apports sableux. Elle marque la déconnexion définitive du chenal.

Conclusion troisième partie

Dans le cadre du volet sédimentaire de cette étude trois régions situées dans la partie fluviale du delta du Danube ont fait l'objet de prélèvements sédimentaires et d'analyses des échantillons : Pardina, Fortuna-Sontea et Les méandres de Mila.

Au sein de chaque région trois à quatre sites ont été sondés : ParLac, ParCan et Stipoc dans la région de Pardina ; Sontea01, Sontea02, Tara14 et Tara24 dans la région Fortuna-Sontea ; Caz01, Caz02 et Mila dans la région Les Méandres de Mila. Certains sites correspondent à d'anciens chenaux repérés sur les images ortho-photo (Caz01, Caz02), d'autres correspondent à d'anciens distributaires déconnectés et transformés suite aux interventions anthropiques (Mila, ParCan), un site est situé dans un ancien lac (ParLac), un autre est localisé sur la Ride Stipoc (Stipoc), les autres correspondent à des plaines d'inondation et des berges des distributaires actuels (Sontea0, Sontea02, Tara14 et Tara24).

Les colonnes sédimentaires ont été photographiées et décrites et ensuite ont fait l'objet de mesures de susceptibilité magnétique et colorimétriques, pour les carottes tubées, puis échantillonnées. Les échantillons ont fait l'objet des analyses de perte au feu et de granulométrie. Des échantillons en provenance des carottes tubées ont été datés.

Le croisement des résultats des mesures et analyses effectuées, avec l'aide du diagramme C/M de Passega, a permis l'identification des différents milieux de dépôts et donc la reconstitution des évolutions des sites sondés sur des durées de temps qui varient de centaines à des milliers d'années.

Les données acquises sur la région de Pardina, en analysant 3 carottes - ParLac, ParCan et Stipoc - viennent compléter les rares données concernant ce secteur : les carottes KP1 (Filip & Giosan, 2014) et F18 (Vespremeanu et al., 2017). La carotte KP1 est en position proximale (ie. Ouest) dans la dépression. Longue de 6 m, elle n'a pas atteint le *substratum*. 5 échantillons ont été datés lors des travaux sur cette carotte. La carotte F18 a été prélevée au sud de la dépression. D'une longueur de 10 m, elle semble avoir atteint la base du remplissage, mais les éléments disponibles dans les publications sont peu loquaces à ce sujet. Deux datations ont été réalisées sur cette séquence. Les données présentées ici s'accordent pour donner un âge voisin de 9 500 BP à la base du lac, qui ne semble pas exister auparavant. L'épaisseur des remplissages identifiés dans les carottes ParCan et F18 sont par ailleurs très similaires (environ 8.50 m). D'après ces deux carottages, le *substratum* du lac se trouve vers -8,5 à -9 m bsl. À cette date, le niveau marin peut-être estimé en mer Noire vers -25 m bsl (Lambeck & Purcell, 2006). La carotte ParCan enregistre ainsi la formation d'une dépression lacustre d'eau douce, déconnectée de la mer Noire. La carotte F18 de Vespremeanu et al. (2017) accorde un âge plus récent (7 800 BP) mais a été réalisée à environ 0,80 m de la base du remplissage, qui est donc antérieur. Ce modèle d'évolution pose la question de l'âge de la ride de Stipoc, qui reste inconnu. La carotte Stipoc n'a pas permis de répondre à cette question. Les hypothèses proposées par les différents auteurs offrent une large gamme

d'âges : « pré-deltaïque » pour Panin, (1972 ; 2009) à historique (fin du 1^{er} Millénaire AEC – début du 1^{er} Millénaire EC) d'après Vespremeanu et al. (2016 ; 2017). Cependant, dans tous les cas, il s'agit de datations indirectes, aucun âge absolu n'étant disponible pour asseoir un scénario.

Au cours du début de l'Holocène, et jusque vers ca. 6 400 BP, la zone fluvio-deltaïque de Sontea-Fortuna est hors d'eau et présente une morphologie de plateau ondulé, façonné dans des formations lœssiques plus ou moins pédogénétisées et remaniées comme c'est le cas de la base de la carotte Tara 24. La topographie de ce plateau est complexe, comme le montrent les données issues de l'environnement direct du site de Taraschina. Dans les logs Tara10 et Tara24, les lœss apparaissent vers -1,70 m bsl en moyenne. Cette altitude est plus faible pour le log Tara14, situé en position plus éloignée du site, où le lœss a été atteint vers -4,71 bsl. Il faut donc envisager l'existence soit d'un talus, soit d'une forme incisée (chenal) dans le lœss à l'ouest du site. Sur le plateau, dès ca. 6 400 BP, se développent des formations organo-minérales de faible énergie, qui attestent d'une augmentation de l'humidité des sols (débordement et hausse du niveau de l'aquifère ?). Les apports détritiques restent limités, mais peuvent être présents comme dans la base de la séquence 10. Il existe un décalage de près de 200 ans entre les premières accumulations sur le plateau (logs 21, 10 et 24) et au pied du talus/fond de chenal qui ne débute que vers ca. 6 200 BP d'après les données de la carotte 24. Cette contradiction pourrait n'être qu'apparente puisque le chenal enregistre le début de son comblement (et de sa déconnexion partielle) et non pas le début de l'activité d'écoulement qui pourrait s'effectuer vers ca. 6 450 BP.

Les données disponibles à l'échelle de la mer Noire (Lambeck & Purcell, 2005 ; Giosan et al., 2006) convergent pour proposer à cette date l'existence d'un niveau marin proche de -6 m bsl. Les données récentes de Vespremeanu et al. (2017), en accord avec les données antérieures (Panin, 1974 et 1981) suggèrent qu'à ce moment le littoral se positionne au niveau du cordon de Letea, soit 18 km en aval. La pente du système de chenaux serait donc de l'ordre de 0,007 %. Ces informations sont compatibles avec un fonctionnement fluvial de cette partie de la plaine, dont l'altitude est située entre +1,5 et + 4 m au-dessus du niveau marin vers 6 450 BP. Le ralentissement de la vitesse de remontée du niveau de base serait alors un facteur permettant d'expliquer, dans le chenal, l'existence d'un hiatus long. En effet, cette période correspond au début de l'accrétion sédimentaire du lobe Sf. Gheorghe qui bénéficie alors d'une alimentation sédimentaire d'amont importante (by-passing). La forme incisée se maintient dans le paysage au-delà de l'abandon du chenal, comme l'atteste la géométrie de la séquence sédimentaire supérieure, soit que son colmatage ait été partiel, soit que la compaction différentielle ait maintenu cette morphologie. Toutefois, la reconnaissance d'un hiatus secondaire avant ca. 6 000 BP, identifié dans les logs Tara14 et Tara 24, pourrait être associée à une modification de la circulation des apports fluviaux à l'échelle du delta dans son ensemble. En effet, les travaux de Filip et Giosan (2014) montrent que le début des apports fluviaux dans la dépression de Pardina s'effectuerait vers 6 400 BP et enregistrerait ainsi l'individualisation du chenal de Chilia. Celui-ci résulterait d'une relocalisation du tracé identifié à l'ouest et au sud du site de Taraschina (chenal de Sontea). Un des problèmes géomorphologiques non résolus de l'évolution du delta du Danube, l'origine du bras Chilia,

trouverait ainsi une explication. Les travaux anciens n'abordent pas cette question pourtant cruciale. La publication récente de Filip et Giosan (2014) sur ce chenal n'aborde pas la question de l'origine du bras Chilia et se focalise sur l'évolution des lobes de Chilia I, II et III. Dans sa synthèse récente, Vespremeanu et al. (2017) envisage une formation très récente, vers 2 000 BP. Les données exposées ici montrent que la formation du bras de Chilia résulte d'une relocalisation du bras primitif de Sontea vers le nord. L'exhaussement rapide de la plaine alluviale entre 6 450-6 200 BP aurait ainsi favorisé le déversement de ce bras dans la dépression lacustre de Pardina en conformité avec les données sur ce site dans ce travail. Corollairement, le bras de Sontea se serait progressivement déconnecté et tari, avant 6 200 BP, comme le montre le début du colmatage de celui-ci (Tara 14).

C'est au cours de la mise en place de la séquence supérieure que ces héritages sont effacés. À partir de ca. 700 BP, la reprise de la sédimentation est ubiquiste et recouvre l'ensemble des unités antérieures. L'épaisseur de cette formation montre qu'elle correspond à environ la moitié des dépôts accumulés au cours de l'Holocène. Cet épisode correspond donc à une transformation inédite en termes de rapidité à l'échelle du delta du Danube. Il s'agit donc d'un épisode majeur qui a façonné la morphologie actuelle du delta qui est héritée de ce moment. Les travaux antérieurs ont peu insisté sur cet aspect à l'exception de Giosan et al. (2012). Ce travail a souligné, au travers de la modélisation à l'échelle du bassin-versant, le rôle possible des évolutions enregistrées au cours du dernier millénaire comme déterminantes dans la morphologie actuelle du delta. Ces auteurs insistent sur le rôle de l'anthropisation à l'échelle du bassin-versant et discutent peu le rôle du RCC 0.8 (le PAG) dans cette dynamique. Les travaux menés dans le cadre de l'étude géomorphologique autour de Taraschina montrent, pour la première fois, l'impact de la crise détritique à 800 BP dans l'évolution du delta du Danube. Ce fait montre que les paysages actuels dans la région Sontea-Fortuna sont jeunes et marqués par deux ruptures majeures et ne peuvent en aucun cas être utilisés pour envisager les paléogéographies et les paléopaysages dans le cadre d'une simple démarche régressive.

Dans la région « Les Méandres de Mila » les sondages Caz01 et Caz02 ciblaient les paléochénaux de la partie médiane du Bras Sulina, tandis que le carottage Mila est localisé sur un méandre déconnecté du bras, à la fin du XIX siècle. Les séquences Caz01 et Caz02 sont analysées comme faisant partie du même système, le Bras Sulina, en migration vers le sud-ouest, Caz01 étant plus ancienne. L'âge de la base de la carotte Caz01 est estimé vers 10 500 BP, tandis que Caz 02 montre un âge de 6 800 AEC. Si la base et la partie supérieure de la carotte Caz01 montrent des milieux caractérisés par une énergie faible dominés par la décantation, la séquence intermédiaire, située entre -6,33 m et -3,22 m, montre une augmentation de l'énergie qui correspond à une formation de levée de berge, voire de chenal. Les datations réalisées dans cette séquence montrent des âges compris entre 6 800 BP et 5 000 BP. La carotte Caz02 témoigne d'une évolution décroissante de l'énergie, avec un chenal depuis un chenal actif à la base, jusqu'à une plaine d'inondation distale dans la partie supérieure. Les datations réalisées sur la séquence Caz02 nous montrent que le chenal actif à fonctionne entre ca. 6 000 BP et 4 000 BP. Après une phase d'érosion qui induit un hiatus, la partie supérieure de la carotte est colmatée au cours du dernier millénaire, après 800 BP, fait

qui peut correspondre au PAG. Ces datations qui prouvent l'existence d'un distribuaire actif dans cette partie centrale du delta d'aujourd'hui vers 6 800 BP – 6 000 BP sont plus en concordance avec les hypothèses de Vespremeanu-Stroe et al. (2017) et Panin (2003) qui considèrent que cette région, appelée « Old Danube » par Vespremeanu-Stroe, s'est développée entre 8 000 BP et 5 500 BP ou entre 7 200 BP et 2 000 BP, pour la totalité du Bras Sulina, d'après Panin. L'âge proposé par Giosan et al. (2006), qui considère que le delta a commencé à prograder il y a seulement 5 200 ans est infirmée par cette étude.

Quatrième partie :

Les archives textuelles et iconographiques de l'Antiquité à l'Epoque Contemporaine

Introduction quatrième partie

La cartographie, comme la peinture, précède à la fois le langage écrit et les systèmes impliquant des nombres, et bien que les cartes ne soient pas devenues des objets quotidiens dans de nombreuses régions du monde avant la Renaissance européenne, il y a eu relativement peu de sociétés sans carte dans le monde en général. La carte est donc à la fois très ancienne et très répandue ; les cartes ont influencé la vie, la pensée et l'imagination de la plupart des civilisations connues (Harley & Woodward, 1987).

Les cartes sont des objets importants, beaucoup d'informations étant transmises à travers les traits, les couleurs ou bien les toponymes d'une carte. Les cartes sont des représentations très expressives des éléments géographiques ou des rapports de pouvoir établis sur un territoire à un moment donné dans le temps. Ils peuvent nous communiquer des informations sur les formes de relief, sur la couverture végétale, sur l'habitat, sur les voies de transport et communications, sur les frontières ou sur les divisions administratives. D'autres informations aussi précieuses peuvent être également transmises via une représentation cartographique, comme la structure ethnique ou autre. Bien-sûr toutes ces informations sont soumises à l'interprétation de l'auteur de la carte et/ou du cartographe/dessinateur.

Historiquement, les zones humides n'ont pas été faciles à cartographier, l'accessibilité ayant été le principal problème pour les levées cartographiques à cause des eaux peu profondes et des marais agissant comme des barrières naturelles. Les techniques cartographiques n'ont pas été particulièrement conçues pour faire face au dynamisme d'un environnement deltaïque constitué ni entièrement d'eau, ni de terre ferme, un delta étant un environnement intermédiaire qui change constamment et qui fait échouer les tentatives de le définir et de le dessiner de manière précise (Constantinescu & Tanasescu, 2018).

Dans cette quatrième partie, dédiée à l'analyse des archives textuelles et iconographiques sur le delta du Danube, nous nous proposons d'établir la périodisation des aménagements dans le delta, mais aussi de voir si c'est possible d'identifier des phases d'évolution « naturelle » à partir de documents anciens. Cette partie est organisée de façon chronologique en cinq chapitres : le chapitre 10 comprends les sources de l'Antiquité à l'Epoque Moderne ; le chapitre 11 couvre l'époque contemporaine jusqu'à la création de la CED (1856) ; le chapitre 12 présente l'époque contemporaine après la création de la CED et jusqu'au Deuxième Guerre mondiale ; le chapitre 13 fait une analyse quantitative des transformations du delta à partir des sources iconographiques pour la période communiste et jusqu'à nos jours ; le chapitre 14 couvrent aussi l'intervalle de l'époque communiste à aujourd'hui à partir des sources archivistiques.

Chapitre 10

Les sources anciennes de l'Antiquité à l'Époque Moderne

Les premiers témoignages du territoire actuel du delta du Danube et de ses environs datent de près de 2 500 ans (Stefanescu, 1981). Cette région a été visitée, décrite et même cartographiée par les grecs, les romains, les génois, les turcs ou encore les allemands. Le type et la quantité des informations varient dans le temps en corrélation avec l'histoire mouvementée de la région, comme nous avons vu dans la première partie (chapitre 3) de cette thèse.

Ce chapitre est structuré en tenant compte des grandes périodes historiques : dans un premier temps la Période Antique, suivi par le Moyen Âge, pour arriver enfin à l'Époque Moderne. Chacune de ces périodes apporte des informations et des représentations cartographiques différentes du delta.

10.1 La période antique

L'espace géographique correspondant à l'embouchure du Danube dans la mer Noire a constitué, y compris au cours de l'Antiquité, un pôle attractif majeur. Il offrait notamment la possibilité de pénétrer par voie fluviale à l'intérieur du continent européen. Les témoignages des historiens antiques décrivent ainsi les bouches du Danube et les rivages nord-ouest de la mer Noire. Néanmoins, les originaux des représentations cartographiques datant de cette période, pour la grande majorité, ne nous sont pas parvenus. Ce n'est que plus tard, grâce aux informations et parfois même aux coordonnées géographiques laissées par les auteurs, que des cartes ont été réalisées.

La première personne à qui l'on attribue le dessin de la première carte du monde gréco-romain a été le philosophe et savant **Anaximandre de Milet** (610-547 AEC). La carte d'Anaximandre a été améliorée 50 ans plus tard lorsque **Hécatee de Milet** (550-480 AEC) écrit son « tour de monde » (*Periodos ges*), un parcours autour de la Méditerranée et de la mer Noire permettant de visiter les trois continents de l'*Oekoumène* (la terre connue/habitée), la Libie, l'Europe et l'Asie. La méthode d'Hécatee consiste à décrire d'abord le littoral, puis à s'enfoncer dans les terres jusqu'aux confins du monde habité (Harley & Woodward, 1987). Hécatee considérait la terre comme un disque plat autour duquel coulent les eaux des océans.

Hérodote (484-420 AEC), un grand historien grec, surnommé le « Père de l'Histoire », est l'auteur d'une grande œuvre intitulée « Histoires ». Les Histoires se composent de neuf livres. Tout au long de l'ouvrage, Hérodote donne une description et de nombreux renseignements sur les particularités, les us et coutumes de certains peuples. Mais sa contribution ne s'arrête toutefois pas là car il donne aussi de nombreuses indications, parfois très précises, sur la taille de tel territoire, telle mer ou tel fleuve ou encore la richesse de tel peuple. Ce de fait, il est également considéré comme un grand géographe.

Dans le livre III Hérodote parle du règne de Darius qui mène une vaste expédition contre les Scythes localisés au nord de la mer Noire (Pont-Euxin) et dans les steppes de l'Eurasie centrale. Hérodote présente le Danube (Istros) comme une frontière entre Thraces et Scythes. Il dit que l'Istros est le plus important fleuve européen qu'il connaît, dépassé seulement par le Nil en ce qui concerne le volume d'eau, mais qui coule avec le même débit en été comme en hiver. L'Istros se jette dans le Pontus-Euxinus à travers cinq bras et la distance jusqu'à la première bifurcation du fleuve en deux bras est évaluée à deux jours de voyage par l'eau en partant de la mer Noire (Legrand, 1945).

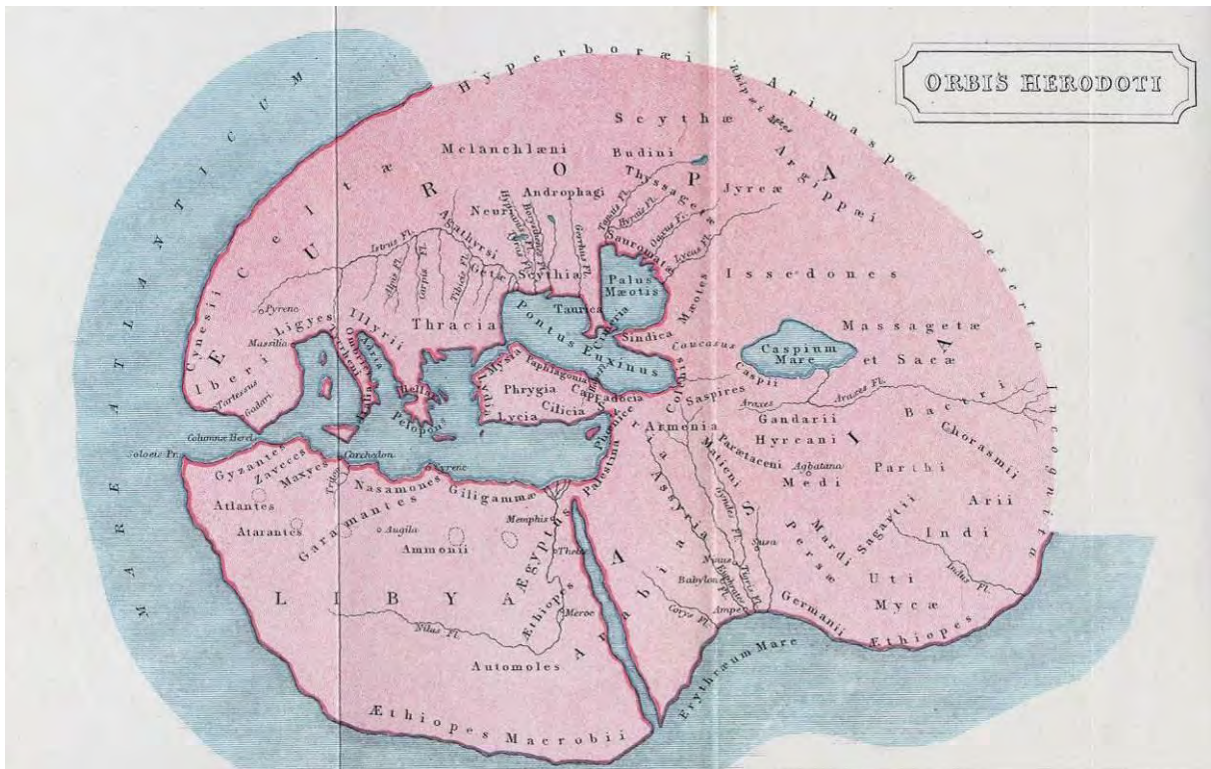


Fig.10.1 Le monde d'Hérodote vers 450 AEC reconstruction par S. Hall et Sculp. en 1860

Source : Atlas Longman & Co, 1860

Eratosthène (275-195 AEC), astronome, géographe, philosophe et mathématicien grec est le premier à mentionner l'existence d'une île de forme triangulaire, appelée Peuce, située à l'embouchure de l'Istros. Cette île est comparable en taille à l'île de Rhodes en Grèce (Fig.10.x), et son nom viendrait du mot épingles/pin, indiquant la présence de cet arbre ici.

Malheureusement les informations laissées par Eratosthène ne sont pas très précises, ce qui ne permet pas de localiser précisément cette île. Plusieurs auteurs (Ionescu-Dobrogeanu, 1904 ; Murgoci, 1912; Kiessling, 1913; Murgoci, 1914; Parvan, 1914 ; Antipa, 1914 ; Bratescu, 1921; Nastase, 1932 ; Valsan, 1936 ; Stefanescu, 1981 ; Panin, 1983 ; Romanescu, 1990 ; Scurtu, 2013 ; Romanescu et al., 2014) (Fig.10.2) ont proposé des théories sur l'emplacement de cette île, qui est associée aux rides de Chilia, Caraorman ou Saraturile, et même avec la péninsule de Dunavat, mais il n'y a pas de consensus sur ce point aujourd'hui.

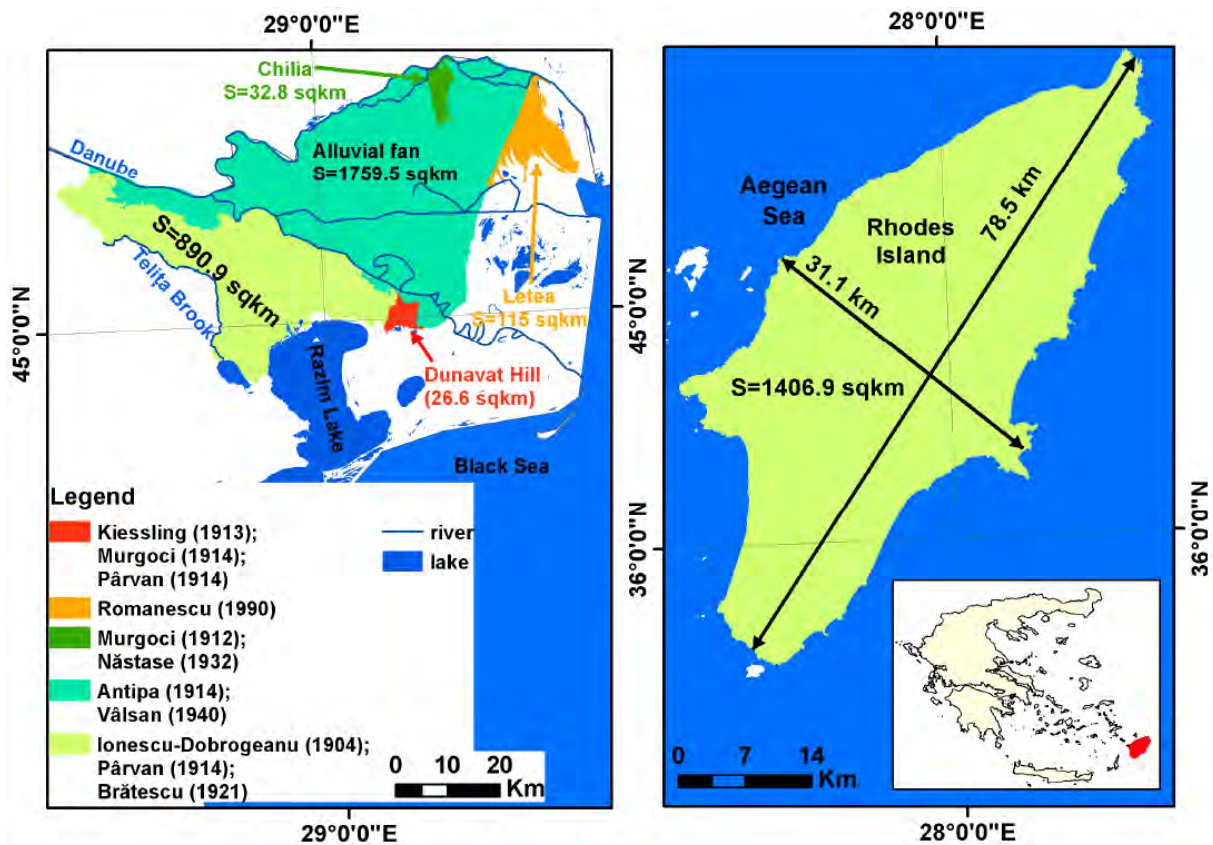


Fig.10.2 Localisation de l'île de Peuce par différents chercheurs

Source : Romanescu et al., 2014

Apollonios de Rhodes (295-230 AEC) dans son œuvre, composée principalement des « Argonautiques », mentionne également, dans le quatrième et dernier livre de son poème épique, l'existence de l'île triangulaire nommée Peuce. Cette île, entourée par deux bras, avait la pointe étroite vers la terre et sa grande largeur vers la mer. Selon les informations d'Apollonios cette île correspond au territoire situé entre le bras Sulina et le bras Sf. Gheorghe.

Polybe (210-120 AEC), homme politique et historien grec nous parle aussi des bouches du Danube dans ses « Histoires ». Il mentionne la présence d'un grand banc de sable d'une longueur d'environ 1000 stades (environ 157 km) situé dans la mer à un jour de distance de la terre, qui était très dangereux pour la navigation. Il considère ce banc d'origine fluviale, comme le résultat de l'accumulation des sédiments transportés par l'Istros (Popescu-Spineni, 1978).

La description de Polybe nous fait penser à un cordon littoral, mais il est très peu probable, étant donnée la période, que l'auteur parle du cordon initial. Donc il s'agit peut-être du cordon qui a fermé le golfe Halmyris, aujourd'hui les lagunes Razelm-Sinoie, au sud de l'embouchure du bras Sf. Gheorghe, et qui a provoqué la chute des cité-ports d'Orgame et d'Histria, fondées par les grecs au bord de la mer Noire (Fig.10.3).



Fig.10.3 Localisation des cité-ports d'Orgame et d'Histria
Modifié d'après Barzescu et al, 2013

Strabon (60 AEC -20 EC), géographe et historien grec, dans sa grand œuvre nommée « Géographie », fait une description des embouchures du Danube. Lui aussi parle d'une île de dimensions importantes, nommée Peuce, entourée par de nombreuses autres îles plus petites en amont et en aval. Il mentionne sept embouchures pour l'Istros et nous donne des informations sur les distances entre les différentes embouchures et les villes-ports situées sur la côte de la mer Noire.

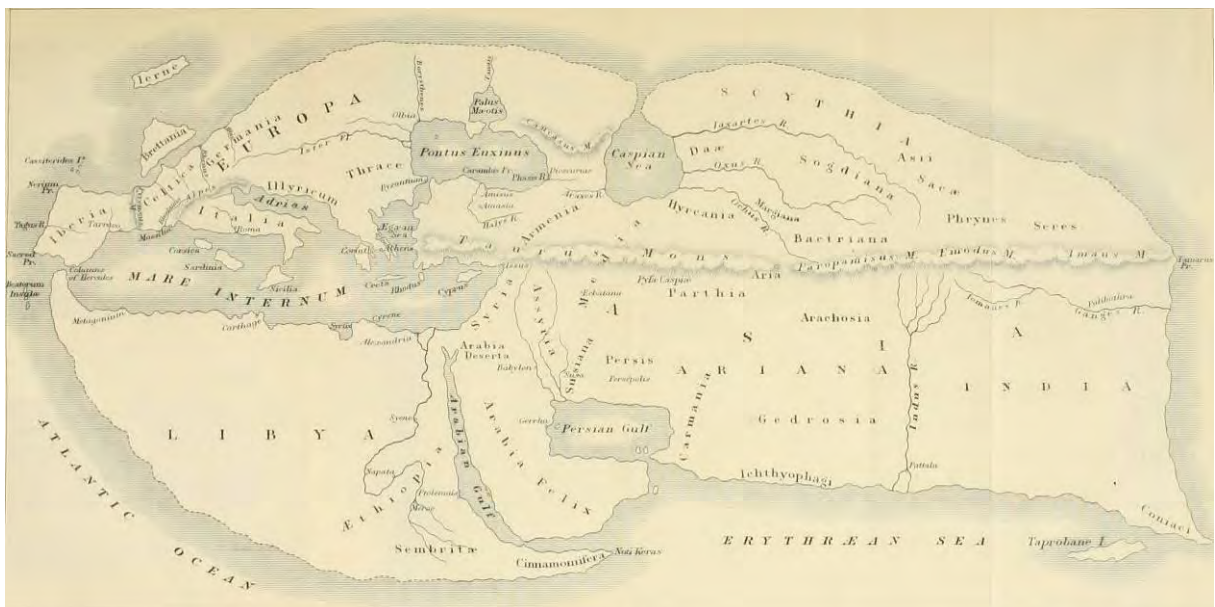


Fig.10.4 La carte du monde d'après Strabo vers 25 AEC dessinée par J. Bye. en 1814
Source : davidrumsey.com

La plus grande embouchure d'Istros (Fig.10.4), située au sud du delta, était Hieron Stoma et à 120 stades en amont on retrouve l'île Peuce. Entre Hieron Stoma et la septième embouchure vers le nord il y a une distance de 300 stades et jusqu'à Istros (Histria) il y a 500 stades vers le sud. Plus au sud, à 250 stades on trouve Tomis (Constanta) et plus au sud encore, à 280 stades, Callatis (Mangalia). Parmi les six autres embouchures, les trois premières sont petites et les trois autres plus grandes mais pas aussi grandes que Hieron Stoma. Les propos de Strabon nous font penser que Hieron Stoma correspond à l'embouchure Sf. Gheorghe qui à l'époque était le bras dominant du delta, et que, entre Sf. Gheorghe et probablement Sulina, existaient trois embouchures plus petites. Il mentionne aussi trois embouchures plus importantes, fait qui laisse incertaine la localisation d'une troisième embouchure, hors celles de Sulina et Chila.

Sénèque (4 AEC-65 EC), philosophe et homme d'Etat romain, laisse des informations concernant les îles existantes aux embouchures du Danube, couvertes de roseaux et séparées par les bras du Danube. Il remarque l'absence de substrat rocheux sur ces îles, constituées par le dépôt des sédiments amenés par le Danube. Sénèque nous offre une description très réaliste du delta avec des grandes étendues de roseaux séparées par des distributaires et le dépôt des sédiments en périodes des crues dans les régions inter distributaires.

Pline l'Ancien (23-79 EC), écrivain et naturaliste romain, est l'auteur d'une encyclopédie intitulée « Histoire naturelle ». Concernant le Danube, Pline affirme qu'il a 60 affluents et qu'il se jette dans la mer Noire à travers 6 bras qu'il nomme du sud vers le nord : Peuce (le plus important, situé à côté de l'île Peuce et qui perd ses eaux dans un grand marécage), Naracustoma (le bras étroit), Calonstoma (le beau bras), Pseudostomon (le faux bras), Borion Stoma (le bras du nord) et Psilon Stoma (le bras vide). Si Peuce correspond au bras Sf. Gheorghe, le plus important à l'époque, Pline nous parle aussi de trois bras (Naracustoma, Calonstoma et Pseudostomon) plus importants que ceux de Borion Stoma (Sulina ?) avant Psilon Stoma, le bras vide (à l'époque) de Chilia.

Ptolémée (90-168 EC), astronome et astrologue grec, nous a laissé l'ouvrage « Géographie » qui est une compilation de connaissances géographiques du monde gréco-romain couvrant la totalité de l'*Oekoumène* vers l'an 150 EC. Cet ouvrage est très cartographique car il contient beaucoup de tables avec des coordonnées de longitude et latitude des différents lieux, comme des villes, des îles ou des confluences des rivières. Même si les cartes réalisées par Ptolémée, qui constituaient un atlas avec 26 feuilles (Popescu-Spineni, 1978), ne sont pas arrivées jusqu'à nous, beaucoup de reconstitutions basées sur ses coordonnées ont été réalisées à partir du XV^{ème} siècle (Fig.10.5), et ces informations vont continuer à influencer les représentations cartographiques jusqu'à la deuxième moitié du XVII^{ème} siècle.

Ptolémée donne à la terre une forme sphérique et estime sa circonférence à 180 000 stades, soit 33 345 km. Cela représente près de 26% de moins que les 40 075 km réellement mesurés à l'équateur. Reprenant le système sexagésimal des Babyloniens, il divise cette sphère en 360° de longitude de 500 stades chacun. Il fixe le méridien de longitude 0 au point le plus à l'ouest connu à son époque, soit les îles « Fortunata » (Iles des Bienheureux),

identifiées comme les îles Canaries. Il pose des intervalles de cinq degrés correspondant au tiers d'une heure d'équinoxe et couvrant au total douze heures, soit 180° jusqu'à Cattigara, qui correspondrait à Hanoi. La latitude était mesurée à partir de Thulé, situé à 63° N, jusqu'à Agisymba dans l'Afrique sub-saharienne, que Ptolémée situe à 16° S, la distance totale couvrant ainsi 79° (Brotton, 2012). Posant le degré 0 à l'équateur, comme aujourd'hui, Ptolémée calcule la distance selon la durée du jour le plus long plutôt qu'en degrés, car la durée du solstice d'été passe de 12 h à 24 h au fur et à mesure qu'on s'éloigne de l'équateur vers le cercle polaire. Il utilise des incréments de quinze minutes par degré, jusqu'au parallèle où le jour le plus long dure quinze heures et demie pour alors passer à des incréments de trente minutes, jusqu'à Thulé, où le jour le plus long dure vingt heures. Donc des corrections sont nécessaires pour transposer sur une carte les coordonnées de Ptolémée, d'où peut-être les erreurs dans la représentation du delta sur les cartes plus anciennes.



Fig.10.5 La carte du monde de Ptolémée à partir de sa « Géographie », reconstituée au XVème siècle par Jacobus Angelus

Source : British Library

Concernant le delta du Danube Ptolémée indique les noms des 6 bras du Danube du sud au nord : Stoma Peuce, Naracustoma, Calonstoma, Pseudostoma, Boreionstoma et Thiagolla. Inédit dans la présentation du Ptolémée : l'embouchure nordique du delta (Chilia aujourd'hui), nommée Thiagolla, qui présente en amont un grand lac du même nom, indice qui nous fait penser que la région Matita-Merhei d'aujourd'hui n'avait pas du tout la configuration actuelle et qui confirme donc le fait que le Bras Chilia n'avait pas encore traversé la Ride Chilia.

Ptolémée nous laisse un témoignage très riche qui va marquer beaucoup de représentations cartographiques suivantes. Il place la première séparation des eaux du Danube à la hauteur de la localité Noviodunum (Isaccea aujourd'hui), endroit qui se trouve à environ 23 km en amont de la bifurcation du delta dans le Bras Chilia et le Bras Tulcea, considéré comme l'apex du delta aujourd'hui. D'après lui, ce bras suivrait les zones de basse altitude représentées par Valea Larga et la petite rivière Telita, cette dernière se jetant dans le Lac Babadag, un ancien golfe de la mer Noire situé au sud du delta (Valette et al., 2013). La topographie actuelle du terrain ne va pas dans le sens d'une telle hypothèse, mais cette information, doublée par des coordonnées de latitude et longitude laissées par Ptolémée, va être utilisée par beaucoup d'auteurs qui n'ont pas vérifié sur le terrain la véracité de cette affirmation.

L'apogée de la cartographie grecque et de l'Antiquité est associée au nom de Claudius Ptolémée car son travail a eu une plus grande influence sur la cartographie et sur la géographie en général que celle de toute autre figure de l'histoire. Il faudra des siècles avant que les productions cartographiques remontent et dépassent le niveau de celles créées par Ptolémée car bien que son œuvre "Geographia" fut toujours disponible dans le monde arabe, elle avait disparu en Europe et n'a été récupérée qu'au XV^{ème} siècle. Par conséquent, la culture européenne était basée sur les connaissances géographiques sur la cartographie romaine, d'une qualité inférieure (Raisz, 1948).

Flavius Arrianus (95-175 EC) historien et géographe, a écrit plusieurs ouvrages en grec parmi lesquels on retient « *Periplus Ponti Euxini* » (Voyage dans la mer Noire). Il évoque cinq embouchures du Danube et donne les distances entre celles-ci : 60 stades entre la première, nommée Pylon, et la deuxième ; 40 stades entre la deuxième et la troisième nommée Calon ; 60 stades entre Calon et la quatrième nommée Naracon ; 120 stades entre Naracon et la cinquième embouchure, nommée Hieron. Il donne aussi les distances entre la dernière bouche du Danube et les villes port situées plus au sud sur la côte de la mer Noire : 500 stades jusqu'à Histria, 300 stades entre Histria et Tomis et encore 300 stades entre Tomis et Callatis. Si Hieron correspond à l'embouchure Sf. Gheorghe on voit que cet auteur ne parle pas des éventuelles embouchures situées au sud du delta (Dunavat, Dranov) et donc qu'il y en a cinq à partir de Chila (Pylon) et jusqu'à Sf. Gheorghe (Hieron). Concernant les distances vers les ports plus au sud, les différences par rapport à celles mentionnées par Strabon ne sont pas très grandes, mais on remarque une légère augmentation, 300 stades au lieu de 250 et 300 stades, contre 280, ce qui fait penser à l'ajustement des routes de navigation lié peut-être à des obstacles comme des bancs de sable apparus au cours de cette période de 100-150 ans.

La Table de Peutinger (ou *Tabula Peutingeriana*) est une ancienne carte romaine sur laquelle figurent les principales routes, villes et postes militaires de l'Empire romain (Fig.10.6). Bien que copié par un moine du XII^{ème} siècle, il semble être la réplique exacte d'un original du IV^{ème} siècle, probablement l'œuvre d'un certain Castorius (Raisz, 1948).

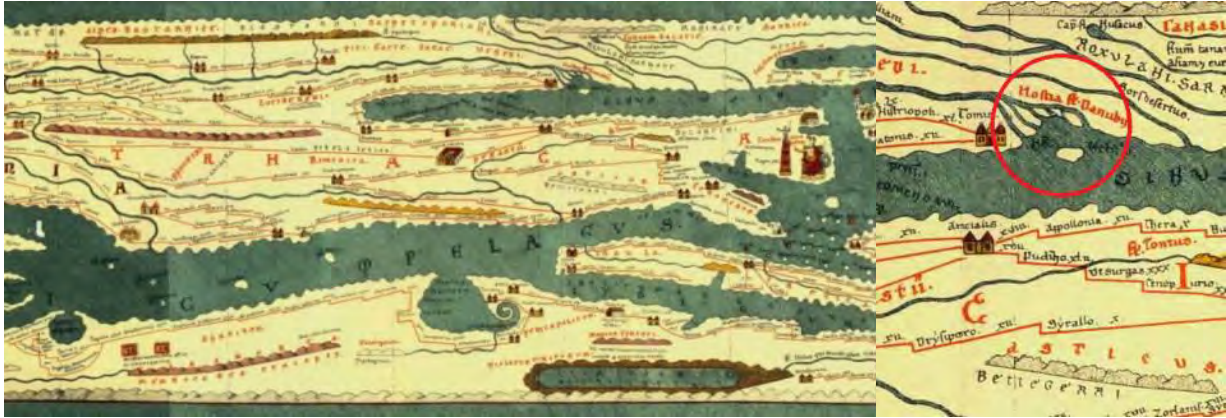


Fig.10.6 Tabula Peutingeriana ; copie publié par Abraham Ortelius en 1598

Source : Austrian National Library

Il n'y a aucune prétention à montrer le monde entier ou même ses principales parties en proportion correcte sur cette carte. En tant que telle, elle est extrêmement riche en données. Elle donne les noms de plus de 5 000 lieux et a longtemps été l'une des principales sources de notre connaissance de la géographie romaine (Raisz, 1948).

La table est composée de onze parchemins conservés sur douze, celui le plus à l'ouest représentant l'Espagne, le Portugal, ainsi que la partie occidentale des îles Britanniques, des territoires pourtant bien connus des Romains, laisse supposer une douzième feuille manquante. La représentation du delta du Danube se retrouve sur le septième parchemin. Le Danube se jette dans un golfe de la mer Noire (Pontus Euxinus) à travers six bras, nommés « *Hostia fluminis (fl.) Danubii* » (Les Embouchures du fleuve Danube). Il s'agit de la carte la plus ancienne qui est arrivée jusqu'à nous (copie d'une version originale) sur laquelle le delta du Danube est représenté.

Contrairement à la Tabula Peutingeriana avec sa forme particulière, la plupart des cartes romaines étaient de forme ronde, plus proche de la carte du monde d'Agrippa (Fig.10.7). Bien que des copies de la carte d'Agrippa sont supposées avoir été apportées dans toutes les grandes villes de l'Empire romain, nous n'avons aujourd'hui que des reconstitutions basées sur les données des cartes du monde médiéval. A leur tour, elles étaient dérivées des originaux romains, plus la description textuelle des géographes classiques tels que Strabo, Pomponius Mela et Pline. La carte originale a été achevée en 20 AEC et a probablement été élaborée à partir des itinéraires des routes romaines.

Dans ce cadre rond (Fig.10.7) les cartographes romains placent le circuit du monde "*Orbis Terrarum*". Les trois grands continents sont représentés dans une disposition plus ou moins symétrique, avec l'Asie en haut de la carte, Europe en bas à gauche et Afrique en bas à droite. Environ les quatre cinquièmes de la surface de la carte étaient consacrés à l'Empire romain, tandis que l'Inde, la Chine, la Scythie et la Sarmatie (Russie) sont réduites à de petites régions périphériques. Sur ces reconstitutions des cartes romaines le delta du Danube (Ister) est dessiné avec trois bras.



Fig.10.7 Carte du monde romaine «*Orbis Terrarum*» Marcus Vipsanius Agrippa (20 EC)
Source : Raisz, 1948

La profonde différence entre l'esprit romain et grec est illustrée très clairement dans leurs cartes. Les romains étaient indifférents à la géographie mathématique, avec son système de latitude et de longitude, ses mesures astronomiques et son problème de projections. Sans tenir compte des projections élaborées des Grecs, ils revinrent aux anciennes cartes "rondes" comme étant mieux adaptées à leurs objectifs.

10.2 Le Moyen Age

Notre corpus de cartes anciennes pour la période du Moyen Age se compose de 20 documents. Deux grandes catégories de cartes ont marqué cette période. D'abord les psautiers, connus aussi comme les cartes TO (Fig.10.8a), une conception religieuse du monde, inspirée par les textes bibliques. Ensuite, les voyages vont permettre d'enrichir les connaissances des autres territoires, et ainsi les portulans (Fig.10.8b), qui étaient des cartes de navigation, voient le jour. On peut considérer que les cartes TO sont une continuation des cartes romaines, tandis que les portulans s'inscrivent plutôt dans l'école grecque.



a. Psautier ou carte TO.
Barthélemy l'Anglais (vers 1200)



b. La « Carte Pisane ».
portulan (vers 1275)

Fig.10.8 Les cartes du Moyen Age

Source des cartes : Bibliothèque Nationale de France

La carte TO était une représentation symbolique, un schéma du monde habité qu'avaient adopté les théologiens. Le sigle TO signifie *Terrarum Orbis* - le globe terrestre, mais est aussi lié au fait qu'elle ressemble à une lettre T - les mers, inscrite dans la lettre O - les océans (Fig.10.8a). Les cartes de ce type sont inspirées par la représentation chrétienne du monde de l'époque médiévale, avec Jérusalem figurant au centre (Fig.10.9). Sur ces cartes, le nord était à gauche, l'est en haut, le sud à droite et l'ouest en bas. On y distinguait les trois continents connus à l'époque : l'Asie sur la moitié supérieure et sur la partie basse, l'Europe à gauche et l'Afrique à droite, séparées par des mers formant un T. A droite se trouvait la mer Rouge, à gauche la mer de Marmara et la mer Noire et vers le bas la mer Méditerranée. La totalité des continents et des mers sont inscrits dans le O du grand cercle océanique fatalement infranchissable. Le Danube est en général représenté sur ces cartes traversant l'Europe, mais l'échelle ne permet pas de distinguer beaucoup de détails sur les embouchures, les cartes étant publiées sur une page de livre.



a. Le psautier carte du monde de 1265
Source : British Museum



b. La carte Hereford de 1290
Source : Hereford Library

Fig.10.9 Cartes TO ou psautiers

Sur certains psautiers comme celui d'Isidore de Séville (570-635 AEC), la carte du commentaire de l'apocalypse de Saint-Sever du XIème siècle (Fig.10.10) ou Hereford Mappamundi (Fig.10.9 b), qui date de la fin du XIIIème siècle, le Danube se jette dans la mer Noire à travers sept bras.



Fig.10.10 Carte du commentaire de l'apocalypse par Beatus (XIème siècle)
Source : Bibliothèque Nationale de France

Les portulans, cartes de navigation utilisées entre les XIII^{ème} et XVIII^{ème} siècles, donnent des informations sur le tracé des côtes, les principaux ports, et les dangers qui pouvaient les entourer (Fig.10.11). Ils ont été créés dans la plupart des cas en Italie et en Espagne et représentent principalement la région de la mer Méditerranée et la mer Noire, même si plus tard certains ont couvert la totalité du monde connu à l'époque.



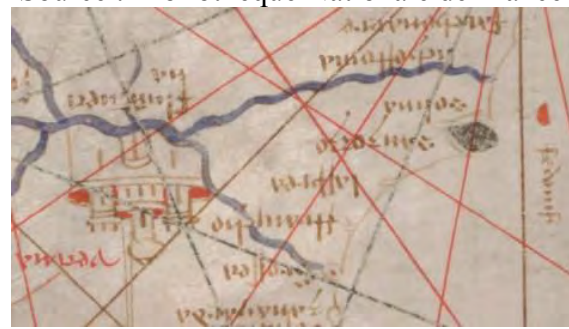
a. Portulan (XIII^{ème} siècle)
Source : Bibliothèque Nationale de France



b. Portulan de Petrus Vesconte, 1313
Source : Bibliothèque Nationale de France



c. Portulan de Petrus Vesconte, 1320
Source : Bibliothèque Nationale de France



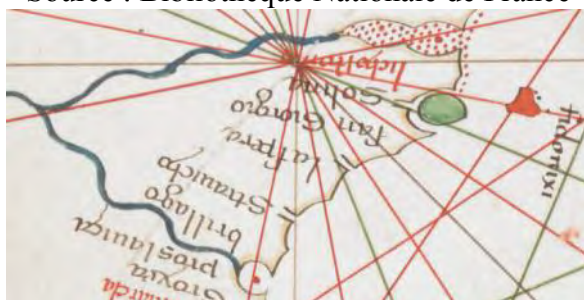
d. Portulan de Guillelmus Soleri, 1385
Source : Bibliothèque Nationale de France



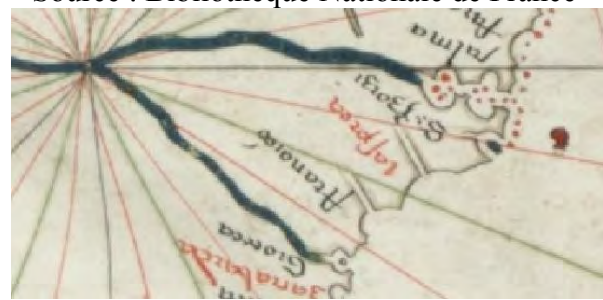
e. Portulan de Gabriel de Vallseca, 1447
Source : Bibliothèque Nationale de France



f. Portulan Grazioso Benincasa, 1471-1500
Source : Bibliothèque Nationale de France



g. Grazioso Benincasa, 1473
Source : British Library



h. Jorge de Aguiar, 1492
Source : University of Yale

Fig.10.11 Représentation du delta du Danube sur les portulans

Le delta du Danube est représenté sur ces cartes de façon différente (Fig.10.11). Soit sous la forme d'îles (Fig.10.11 a, b, c), soit sous la forme d'un triangle avec seulement deux bras représentés au nord et au sud (Fig.10.11 d, e), soit encore sur certains portulans (Fig.10.11 f, g, h) par cinq embouchures.

Pietro Vesconte (ou Petrus Vesconte selon les sources), un cartographe génois, a été un pionnier des cartes portulans et a influencé la production cartographique tout au long des XIV^{ème} et XV^{ème} siècles. Il semble avoir été le premier cartographe professionnel à signer et à dater ses œuvres régulièrement, entre 1310 et 1330 où il a dessiné plusieurs cartes portulans et atlas de cartes. Une de ses premières représentations cartographiques du delta du Danube, publiée dans un atlas en 1313 (Fig.10.11 b) est très intéressante. Le delta a un aspect insulaire, avec deux grandes îles dans la partie amont (partie fluviale ?) et cinq îles plus petites dans la partie aval (partie fluvio-maritime ?) qui séparent six embouchures. Les représentations suivantes changent un peu (Fig.10.11 c). On distingue une seule grande île au nord du delta (Ile de Letea ?) et plusieurs plus petites vers le sud. Très intéressante est aussi la représentation de l'ancien golfe situé au Sud du delta et qui semble être déjà fermé à cette époque, délimitant le Lac Razelm, qui communique avec la mer. Les trois bras du delta sont également bien individualisés, ainsi que le Canal Dunavat, qui fait la liaison entre le bras du sud (Sf. Gheorghe) et le Lac Razelm. Le Lac Razelm communique avec la mer par deux embouchures (Periteasca et Portita ?).

Pendant cette période médiévale, particulièrement dominée par les symboles, la couleur est un facteur de représentation qui a pour rôle principal de classer (Pastoureau, 2004). Le rouge, une couleur très puissante, a été utilisé pour représenter les choses les plus importantes sur les cartes : grands ports, îles ou bancs de sable submergés. C'est pour cette raison que l'île des Serpents, située aujourd'hui en mer à environ 40 km de l'embouchure de Sulina, est souvent représentée sur les cartes, surdimensionnée et en rouge, cette île étant une des seules en mer Noire qui ait une importance pour la navigation.

Sur plusieurs portulans réalisés du XIV^{ème} jusqu'au XVI^{ème} siècle (Fig.10.11 c, g, h), on remarque la présence du rouge autour de l'embouchure du bras nordique du delta sous la forme des points rouges. De plus, sur le portulan de Grazioso Benincasa de 1473 (Fig.10.11 g) le nom « Licostomo » situé sur le bras nord du delta est aussi porté en rouge, donnant plus d'importance à ce bras, le seul de cette couleur dans le delta. Cela peut correspondre à l'activation du bras Chilia avant le XIV^{ème} siècle, qui devient le bras dominant du delta à cette époque, tant en terme de débits liquides que solides, les processus intenses de transport et de dépôt des sédiments devenant un danger pour la navigation.

A la fin du Moyen Age vers 1450 réalisée sur un parchemin par **Fra Mauro**, un moine italien une carte ou planisphère remarquable (Fig.10.12). La carte est circulaire, d'un diamètre de presque 2 m, le sud étant représenté en haut. La carte contient beaucoup de détails et de textes descriptifs. Elle était à cette date la représentation la plus détaillée et la plus précise du monde qui ait été produite. Cette carte marque la fin de la géographie biblique en Europe et le début d'une approche plus scientifique de la cartographie, plaçant la précision avant les croyances religieuses (Brotton, 2014). Le delta du Danube y est représenté avec 5 bras. Trois

bras sont regroupés au nord et doivent représenter les trois grands bras actuels du delta (Chilia, Sulina et Sf. Gheorghe), tandis que les deux bras du sud peuvent être associés aux communications (Portita, Periboina) du Lac Razim avec la mer Noire. On remarque aussi la représentation de la végétation dans le delta sous la forme d'arbres localisés vers les embouchures.



Fig.10.12 La carte de Fra Mauro de 1450
Source : Biblioteca Marciana de Venise, Italie

Les sources écrites pendant le Moyen Age n'amènent pas beaucoup d'informations sur ce territoire, le delta étant peu, voire pas du tout mentionné. Dans la première partie (VIème siècle) on retrouve quelques informations d'ordre militaire, concernant les efforts faits par les romains pour garder un certain contrôle sur les régions traversées par les peuples migrants. Leurs efforts se matérialisent sous la forme de forts placés dans la plupart des cas au sud du Danube. Dans la deuxième moitié et vers la fin de la période médiévale (XIV siècle) les sources parlent de petits états qui s'organisent sur ces territoires avec leurs chefs, leurs coutumes, leurs relations et, encore une fois, des conflits entre les différents peuples autour du Danube et de la mer Noire.

10.3 L'époque moderne

Durant l'époque moderne la cartographie est beaucoup plus riche qu'auparavant, le corpus de cartes anciennes de cette époque étant composé de 150 documents. Toutefois dans cette base de données les sources cartographiques sont nombreuses, elles n'apportent pas beaucoup d'informations supplémentaires sur le delta du Danube. En effet, bien souvent, les auteurs se sont inspirés voire ont repris presque sans changement, les cartes de leurs prédécesseurs.

Pendant cette nouvelle période on retrouve encore des représentations symboliques. **Sebastian Münster**, un savant humaniste et cartographe originaire du sud de l'Allemagne, montre dans sa « *Cosmographia Universalis* » de 1570, une des premières descriptions du monde en langue allemande, où le Danube prend place comme l'artère centrale de la reine Europe (Fig.10.13). Le delta du Danube y est représenté avec quatre bras, non loin de l'Asie sur les marges de l'Europe.

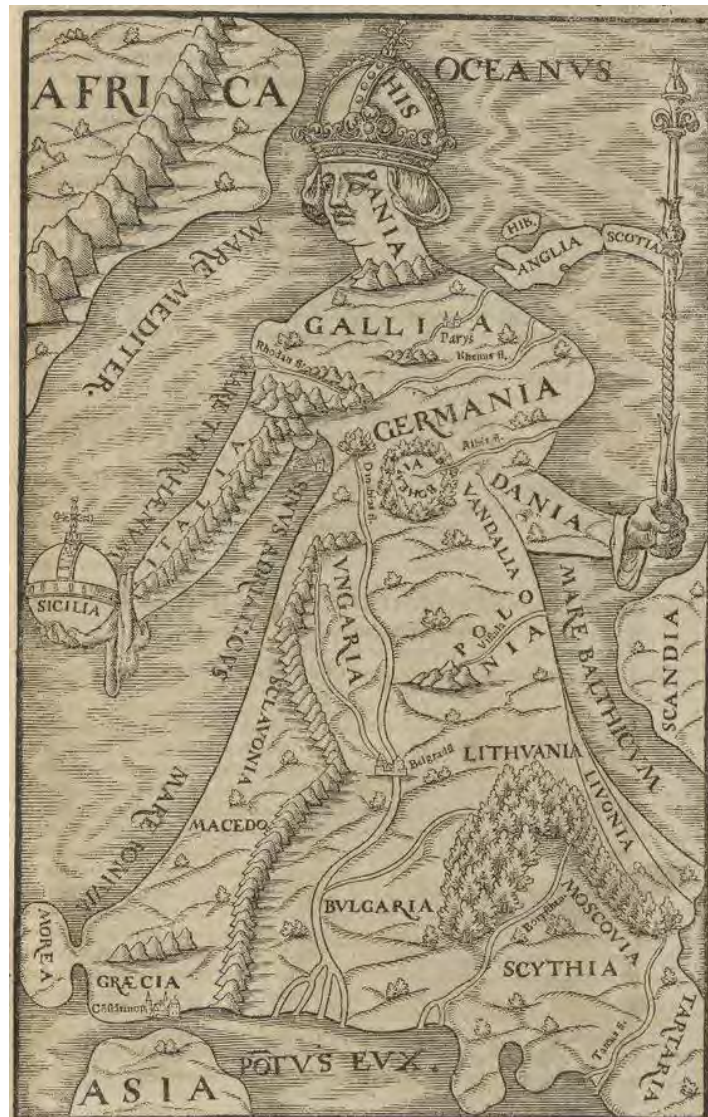


Fig.10.13 Cosmographie de Sebastian Münster en 1570
Source : Bibliothèque Nationale de France

La production cartographique de Munster est importante. Elle s'étale sur presque un demi-siècle et nous propose au fil du temps plusieurs représentations du delta du Danube (Fig.10.14), avec des évolutions liées probablement à des nouvelles informations arrivées jusqu'au cartographe.

Pour une partie, il reste influencé par l'héritage de Ptolémée et dessine le delta avec 5 embouchures et le grand Lac Thiagola localisé sur le bras nordique (Fig.10.14 a). Mais il nous propose aussi d'autres représentations du delta du Danube un peu différentes. Le delta est

représenté avec 3 grands bras et quatre (Fig.10.14 b) ou six (Fig.10.14 c) embouchures. Des villes sont également représentées, Chilia sur la carte de 1552 et, sur la carte de 1581, une autre ville sans nom (Sulina ?) située sur le bras médian du delta. Sur une autre carte de 1588 (Fig.10.14 d) le delta présente quatre bras. Une île est dessinée à l'embouchure du premier bras situé au nord (Chilia), indiquant probablement le dépôt de sédiments et la formation du delta secondaire de ce bras. Le troisième bras (Sf. Gheorghe) a deux embouchures. Si ce n'est pas l'embouchure actuelle du Bras Sf. Gheorghe, il s'agit peut-être d'une autre communication avec la mer, qui contourne la Ride Saraturile par le nord via l'actuel Lac Rosu. A l'intérieur du delta un autre canal est dessiné, qui fait la liaison entre les deux bras du nord (Chilia et Sulina) et qui pourrait être le Canal Sontea. Le quatrième bras, situé le plus au sud, peut correspondre au Canal Dunavat qui communique avec la mer Noire via le Lac Razim et une ouverture dans le cordon littoral (Periteasca ou Portita).



a. Sebastian Munster, 1542
Source : raremaps.com



b. Sebastian Munster, 1552
Source : raremaps.com



c. Sebastian Munster, 1581
Source : zvab.com



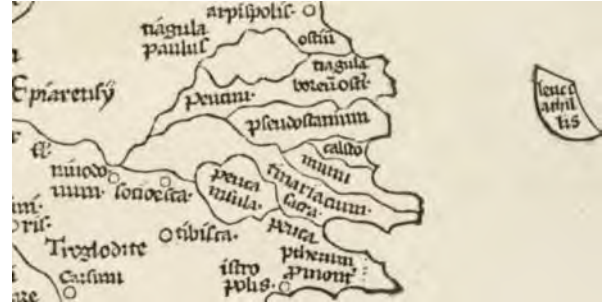
d. Sebastian Munster, 1588
Source : MNIR

Fig.10.14 Les représentations du delta du Danube sur les cartes de Sebastian Munster

A l'image de celles de Munster, on retrouve à partir de la fin du Moyen Age et surtout au cours de l'Époque Moderne beaucoup des représentations cartographiques du delta du Danube influencées par les coordonnées et la description laissées par **Ptolémée** (Fig.10.15).



a. Nicolaus Laurentii, 1480
Source : drevlit.ru



b. Hol Lienhart, 1482
Source : Boston Public Library



c. Martin Waldseemüller 1507
Source : Library of Congress



d. Silvani Bernardo, 1511
Source : Boston Public Library



e. Johann Grüninger, 1525
Source : Boston Public Library



f. Philip Cluverius, 1629
Source : mapandmaps.com

Fig.10.15 Représentations cartographiques influencées par Ptolémée

Le delta présente cinq (Fig.10.15 a, c, e) ou six embouchures (Fig.10.15 b, d, f) et le grand lac situé sur le bras nordique, Thiagola, est souvent porté. Sur la carte de Silvani Bernardo de 1511 (Fig.10.15 d) un grand canal est représenté dans la moitié nord du delta, avec une trajectoire générale ouest-est, faisant la liaison entre le Bras Chilia et un lac situé dans cette région. L'emplacement de ce canal nous fait penser au Canal Sontea. Sur la même carte, des méandres situés sur le bras du sud font penser à un processus de migration. Quelques formes de relief, ressemblant à des dunes de sable, sont dessinées dans la partie sud-est du delta. Philip Cluverius utilise toujours les coordonnées de Ptolémée, mais sur sa carte de 1629 (Fig.10.15 f) le bras du nord du delta (Chilia) est le plus important. La carte de Cluverius surprend par l'absence d'un golfe ou d'un lac situé au sud du delta sur l'emplacement actuel du Lac Razim.

Même si ce sont des représentations cartographiques à petite échelle, le territoire dessiné étant grand (totalité du bassin de la mer Noire, voire la mer Noire et la mer Méditerranée ou bien encore la totalité du monde), on dispose d'un peu plus de détails sur le delta du Danube. Par rapport aux portulans du Moyen-Age les bras du delta commencent à être représentés de façon conséquente.

Les turcs ont marqué cette région pendant une longue période, étant pour une bonne partie les seuls administrateurs du territoire. Comme ils étaient bons navigateurs, nous avons pu retrouver plusieurs portulans turcs sur lesquels le delta est représenté (Fig.10.16 a, e, f). Le delta apparaît avec cinq bras sur la carte de Piri Reis (Fig.10.16 a), de Battista Agnesse (Fig.10.16 b) et de Reiner & Joshua Ottens (Fig.10.16 f), ou avec trois bras, mais avec six embouchures sur les portulans turcs du XVIème siècle (Fig.10.16 e, f). La carte du général ottoman Piri Reis datant de 1513 est une carte du monde résultant de la compilation d'une vingtaine de sources différentes, arabes, portugaises, y compris une carte avec les territoires récemment découverts par Christophe Colomb (Hoye & Lunde, 1980). Ceci n'est pas un travail original, mais les portulans turcs de la mer Noire, qui représentent le delta avec trois grands bras, apportent un travail plus inédit. Sur cette carte de Piri Reis quelques éléments de végétation sont dessinés en vert autour d'une ville (Chilia ?) située dans la moitié nord du delta. Sur un autre portulan de la mer Noire du XVIIème siècle, dessiné par Jean Baptiste Bourguignon d'Anville (Fig.10.16 e), et qui semble être une copie d'une carte datant de 1567 faite toujours par le général ottoman Piri Reis, le delta a trois grands bras et quatre embouchures.

Le delta du Danube est, grâce à la navigation fluviale, une porte d'entrée soit vers l'Europe, soit vers l'Orient via la mer Noire. C'est pour cette raison que la cartographie de l'époque moderne est marquée par une **approche unitaire de la totalité du cours du Danube**. Le grand fleuve européen n'avait pas seulement un rôle majeur dans le transport, mais il assurait également une connexion/séparation entre deux mondes différents : le monde chrétien et le monde islamique (Constantinescu, 2015). Une première carte réalisée par Fabius Licinius en 1559 (Fig.10.17) ouvre la voie, et beaucoup d'autres vont suivre.

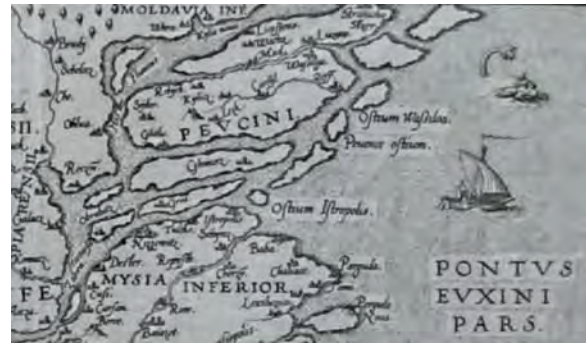


Fig.10.17 Le cours du Danube de Fabius Licinius, 1559
Source : Library of Congress

Si sur certaines cartes du Danube la représentation du delta est proche de l'image qu'on avait de ce territoire à travers les portulans (Fig.10.18 a, d), la majorité de ces représentations amène un peu plus d'informations concernant l'intérieur du territoire. L'habitat est lui aussi souvent représenté. Le delta du Danube y apparaît parfois encore sous la forme d'une île comme sur les cartes de 1578 (Fig.10.18 b) ou 1703 (Fig.10.18 d), mais la présentation avec des bras domine néanmoins dans cette période.



a. Fabius Licinius, 1559
(Source : Bibliothèque Nationale de France)



b. Christianum Sgrothomum, 1578
(Source : Universitätsbibliothek Basel)



c. Cantelli da Vignola, 1684
(Source : raremaps.com)



d. Placide Augustin Déchau, 1703
(Source : MNIR)



e. P. Coronelli, 1716
Source : Bibliothèque Nationale de France



f. Johann Baptista Homanno, 1720
Source : MNIR

Fig.10.18 Représentations du delta sur les cartes du cours du Danube pendant l'époque moderne

On remarque la présence d'îles à l'embouchure du bras nordique du delta, le Bras Chilia. Elles sont représentées depuis la première carte du cours du Danube de Fabius Licinius en 1559 (Fig.10.18 a). Même si ces îles ne sont pas présentes sur toutes les cartes de cette période, elles sont très fréquemment mentionnées : en 1630, 1648, 1690, 1703 (Fig.10.18 d) et

1720 (Fig.10.18 f). Cela semble traduire la quantité importante de sédiments transportée par le Bras Chilia et la formation d'un delta secondaire à l'embouchure de ce bras.

| | Année | Nom | Auteur |
|----|--------------|---|-----------------------------|
| 1 | 1578 | Tractus Danubii | Christianum Sgrothomum |
| 2 | 1600 | Nova Exactissimaqve Descriptio Danubii | Theodor Galle |
| 3 | 1630 | Danubius a fonte usque ad Ostia | Petrus Bertius |
| 4 | 1636 | Danubius, Fluvius Europa Maximus | Jan Jansson |
| 5 | 1664 | Danubius Fluviorum Europae Princeps | Iacobus Sandrart |
| 6 | 1665 | Cours du Danube, depuis Belgrade jusques au Pont Euxin | Sanson d'Abeville |
| 7 | 1684 | Corso del Danubio | Giacomo Cantelli da Vignola |
| 8 | 1687 | Le Cours du Danube | Nicolas de Fer |
| 9 | 1690 | Exactissima totius danubii fluvii tabula et minores in eum influentes fluvii | Justus Danckerts |
| 10 | 1691 | Le Danube et ses affluents | Ebûbekir b. Behram |
| 11 | 1693 | Exactissima Tabula Qua Tam Danubii Fluvii | Nicolaum Visscher |
| 12 | 1703 | Le Cours du Danube | Placide Augustin Déchau |
| 13 | 1716 | Cours du Danube Depuis sa source jusqu'à ses embouchures | P.Coronelli |
| 14 | 1720 | Fluviorum in europa principis Danubii cum adiacentibus regnis | Johann Baptista Homanno |
| 15 | 1726 | Mappa Potamographica in qua fluvii ac fluvioli nominatiores fere omnes qui in Monarchia Hungariae ad Danubium | Luigi Ferdinando Marsigli |
| 16 | 1789 | Navigationskarte der Donau | Lauterer et Mansfeld |

Tableau 10.1 Cartes du cours du Danube pendant l'Epoque Moderne

Sur la carte « *Corso del Danubio* » de Giacomo Cantelli da Vignola publiée en 1684 (Fig.10.18 c) des routes de navigation sont dessinées dans la mer Noire à partir de deux embouchures du delta, celle de Chilia au nord et celle de Proslaviza (Portita ?) au sud, soulignant ainsi les voies principales de l'époque. Sur différentes cartes du XVIIème siècle (Fig.10.18 d, e), l'importance du bras et de l'embouchure de Chilia se reflète dans la façon dont le delta est dessiné. Plusieurs bras et canaux traversent le delta, mais finalement tous convergent vers une seule embouchure située à l'extrémité nord du delta.

Une représentation intéressante du delta, qui met en évidence la circulation des courants dans la mer Noire, est celle de 1720, « *Fluviorum in europa principis Danubii cum adiacentibus regnis* » de Johann Baptista Homanno (Fig.10.18 f). Sur cette carte, le courant des bras du Danube est prolongé dans la mer dans une direction nord-ouest/sud-est, et fusionne ensuite avec un grand courant de la mer Noire qui circule du nord au sud devant les embouchures du delta. On note quatre embouchures, avec des traits plus épais correspondant au courant du Danube le plus important situé sur le Bras Chilia.

Une autre représentation du cours du Danube qui s'intitule : « *Navigationskarte der Donau* » a été publié en 1789 par Lauterer et Mansfeld. A une échelle de 1 : 200 000, la carte présente sur huit feuilles le cours navigable du Danube. Les auteurs se sont concentrés seulement sur le chenal navigable, peu d'éléments étant représentés en dehors de celui-ci. Sur

la feuille correspondant au delta du Danube (Fig.10.19) les trois grands bras sont bien identifiés : « Arm nach Ismail und Kilia », « Arm nach Sulina » et « Arm nach Kideralias ». Pour la partie deltaïque le Bras Sulina a été choisi comme voie navigable. On note deux canaux qui partent vers le sud et trois vers le nord, dont « Communication mit dem Kiliass Arm » dans la partie médiane du bras, probablement via le Canal Sontea. Cette carte montre ses limites quant à la forme des méandres, comme par exemple le grand M, qui ne semble pas très réaliste.



Fig.10.19 « Navigationskarte der Donau » de Lauterer et Mansfeld, 1789
Source : Nationalbibliothek, Vienna

Beaucoup d'autres cartes, qui n'entrent pas dans les catégories mentionnées ci-dessus, ont été publiées pendant l'Epoque moderne. Nous avons choisi une série de cartes sur lesquelles le delta est dessiné différemment que sur les cartes déjà présentées.

On retrouve toujours les deux types de représentation du delta, 1. sous la forme d'îles (Fig.10.20 a, c) et 2. avec plusieurs bras. Le nombre des bras et des embouchures varie encore d'une carte à l'autre.

Pieter Mortier présente le delta en 1700 (Fig.10.20 d) avec seulement trois embouchures. Sur une carte d'Ukraine, réalisée en 1648 par Guillaume Le Vasseur de Beauplan (Fig.10.20 b), le delta du Danube est dessiné avec quatre embouchures. Sur une bonne majorité des cartes le delta présente cinq embouchures, mais certaines vont jusqu'à six, comme par exemple la carte de 1686 réalisé par Castelli da Vignola (Fig.10.20 c).

On remarque aussi dans la représentation des bras du delta deux orientations différentes. Sur une bonne partie des cartes l'orientation générale est d'ouest en est, d'autres cartes proposent une orientation nord-ouest sud-est (Fig.10.20 b, e, f ; Fig.10.20 d, f).

Les noms des embouchures évoluent aussi. On retrouve encore les noms antiques comme sur la carte d'Abraham Ortelius, 1595 (Fig.10.20a) ou sur la carte de Matthias Hase, 1743 (Fig.10.21 f), mais on passe généralement sur des noms plus proches de ceux d'aujourd'hui comme Embouchure du Kili/Mouth of Kili/ Kili Bogazi ou Embouchure de Soulina/M. of Sunni/Soulina Bogazi (Fig.10.18 a/Fig.10.18 d/Fig.10.18 e).



a. Abraham Ortelius, 1595
Source : MNIR



b. Guillaume Le Vasseur, 1648
Source : Library of Congress



c. Castelli da Vignola, 1686
Source : Romulus Seisanu, 1928



d. Pieter Mortier, 1700
Source : raremaps.com



e. Guillaume De L'Isle, 1703
Sources : raremaps.com



f. Carte turque Europe du nord, XVIIIe s.
Source : Coman&Yenikale, 2015

Fig.10.20 Le delta du Danube sur les cartes de l'Epoque Moderne (1)

Des petites îles sont présentes à l'embouchure du bras nordique (Fig.10.18 c, d ; Fig.10.19 f), et des éléments de végétation sur la forme des arbres sont figurés sur les cartes de John Senex (Fig.10.19 c) et Eman Brown (Fig.10.19 d).

Si certaines représentations cartographiques semblent fantaisistes, d'autres sont corroborées par des récits de voyageurs. C'est le cas par exemple d'Evliyâ Çelebi qui décrit le Danube au milieu du XVIIe siècle (1651) : « Il est intéressant de noter qu'habituellement l'on compte trois bras par lesquels le Danube se jette à la mer : Chilia [Kili] au nord, Sulna [Sulina] au centre, Saint-Georges [en roumain : Sfântu-Gheorghe, en turc : Beşdepe] au sud. » (Bilici, 2013). Çelebi en compte deux autres : un bras de Sulna, nommé Hızır-İlyâs et Karaharman (Portitsa ?) ce qui correspond à cinq bras qui sont habituellement représentés sur les cartes de l'époque.

régularisation de la côte par les courants marins. On note que pendant cette période d'environ 1000 ans couverte par les témoignages des auteurs antiques (Ve siècle AC – Ve siècle AEC), le Bras Sf. Gheorghe est le bras dominant du delta du Danube, alors que le Bras Chilia n'a pas encore traversé la Ride Chilia, la région Matita-Merhei étant un grand lac, l'embouchure nordique du delta apparaissant donc comme peu importante.

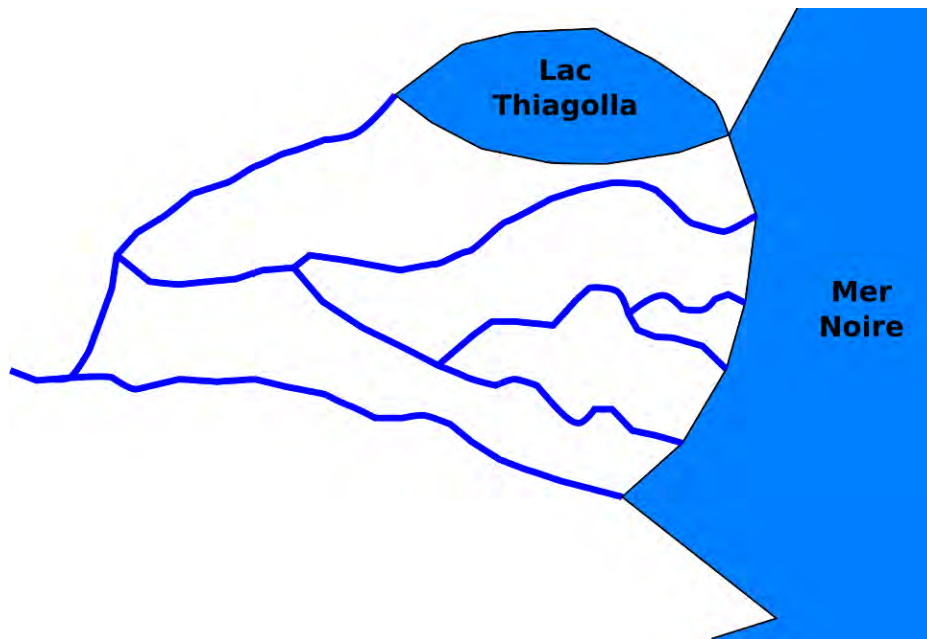


Fig.10.22 Le delta du Danube pendant l'Antiquité d'après les coordonnées de Ptolémée

Le Moyen Age est marqué par la chute de l'Empire romain et par les différentes invasions des peuples migrants qui font presque disparaître le savoir géographique antique d'Occident. Les deux grandes catégories de cartes de cette période sont très différentes. Les psautiers, ou cartes TO, inspirées par les textes bibliques, sont plutôt une représentation symbolique du monde, tandis que les portulans, cartes de navigation, sont beaucoup plus réalistes (Fig.10.23). Même si le delta du Danube est souvent représenté sur ces cartes, l'échelle ne permet pas de distinguer beaucoup de détails.

Si pendant l'Antiquité les témoignages écrits sont majoritaires, le Moyen Age, plus riche en représentations cartographiques, amène un changement radical, une bonne partie des documents étant influencés par une approche symbolique. Pendant l'époque moderne les représentations cartographiques se multiplient. On constate l'apparition de nouveaux types de cartes, mais aussi un retour vers le savoir de la période antique.

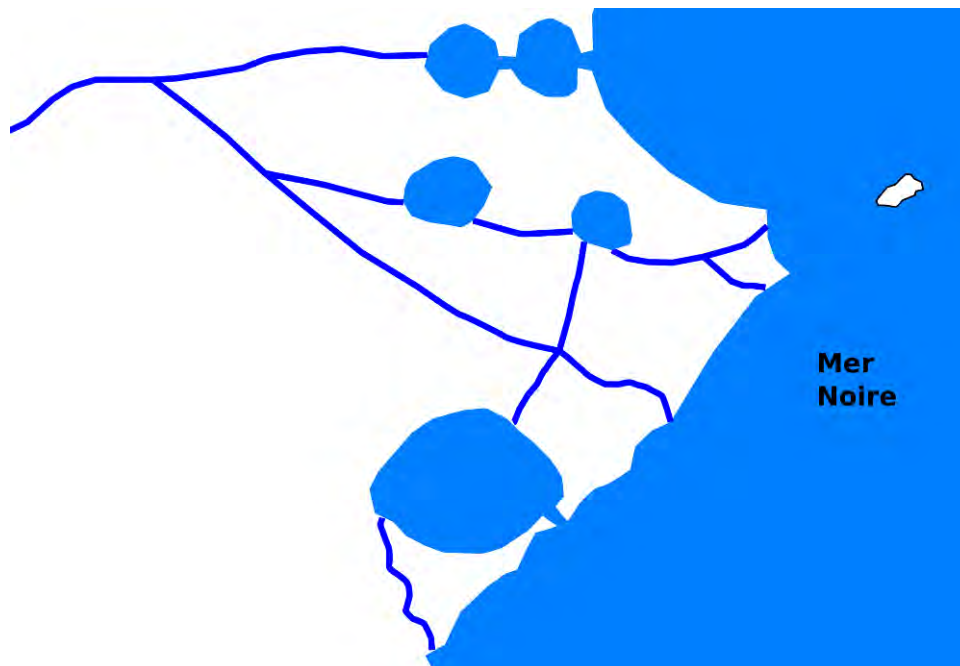


Fig.10.23 Le delta du Danube pendant le Moyen Age d'après Pietro Vesconte

Les cartes de l'Epoque Moderne sur lesquelles le delta du Danube est représenté, certes nombreuses, ne permettent pas néanmoins de reconstituer avec précision les caractéristiques paysagères de ce territoire (formes fluviales, occupation du sol, habitations). Le delta du Danube peut être considéré comme un territoire de limes, de marges et de confins, et y apparaît très souvent comme une « terre vierge ».

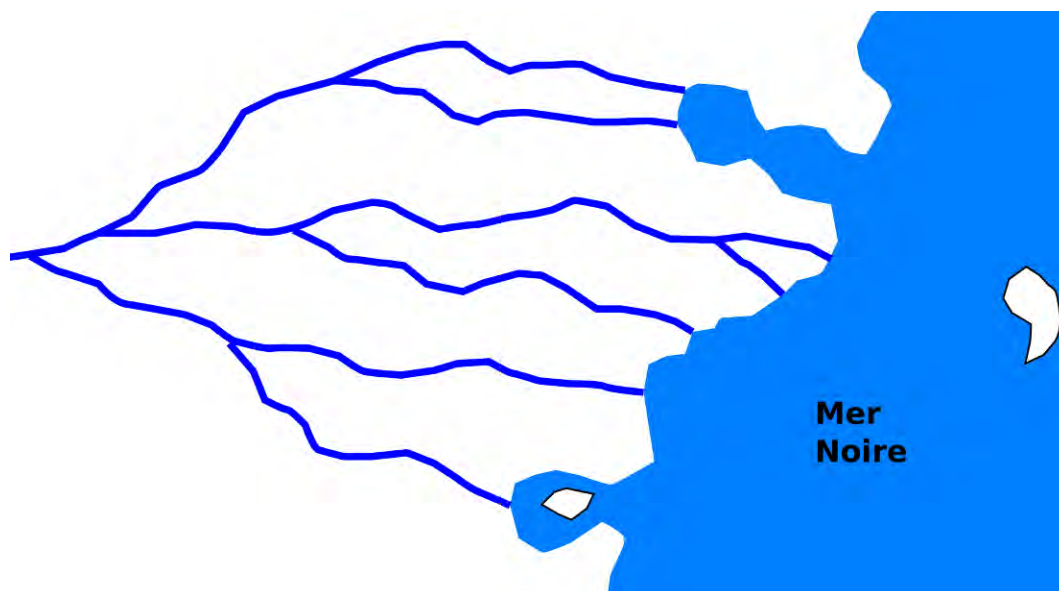


Fig.10.24 Le delta du Danube pendant l'Epoque Moderne d'après Fabius Licinius

Le statut du delta comme voie de navigation se traduit surtout par la cartographie de ses embouchures dans la mer Noire, considérées comme voies d'accès vers l'intérieur des terres. Au cours de l'Epoque Moderne (Fig.10.24), le nombre de bras dans le delta varie de trois à sept, ce qui laisse sous-entendre une évolution naturelle du delta du Danube.

Chapitre 11

L'époque contemporaine jusqu'à la création de la CED (1771-1856)

A partir de la deuxième moitié du XVIIIème siècle une autre étape dans la production des cartes du delta du Danube commence, avec des représentations plus réalistes du delta. Durant les XVIIIème et XIXème siècles cette partie de l'Europe a connu plusieurs guerres, mettant notamment aux prises trois grands empires : l'Empire ottoman, L'Empire russe et l'Empire d'Autriche.

Suite à ces conflits qui se sont déroulés autour et dans la province de Dobrogea, des cartes plus précises ont été nécessaires pour tracer les nouvelles frontières entre les empires. Les périodes d'accalmie entre les conflits ont également été marquées par les efforts des grands pouvoirs d'imposer leur suprématie économique, car le Danube offrait un excellent moyen de transport. Pour dresser ces cartes, les russes et les autrichiens ont investi dans des campagnes de terrain pour effectuer notamment des relevés topographiques. Les turcs ont produit aussi des cartes plus détaillées du delta du Danube mais moins précises, cependant, que les productions russes et autrichiennes.

Une première carte à une échelle plus petite, qui est focalisée sur le delta du Danube, a été produite par les russes en 1771, année que nous avons choisie comme début de cette nouvelle période.

11.1 Le delta sur les cartes à petite échelle

Pour la période 1771-1856, le corpus de cartes anciennes se compose de 114 documents. La plupart de ces cartes sont encore à une échelle assez grande, le territoire représenté étant la totalité de la mer Noire, la partie européenne de l'Empire ottoman, les Balkans ou les principautés danubiennes. On retrouve encore sur certaines cartes une image moins réaliste du delta, héritage de l'époque moderne, mais sur une bonne partie de ces cartes plus générales, on constate une évolution dans la représentation du delta du Danube, qui est dessiné de forme grossièrement triangulaire avec trois grands bras. Progressivement d'autres informations sur le delta sont cartographiées, comme la présence de villages, l'indication de quelques lacs, du réseau hydrographique secondaire, des chemins et la présence de végétation.



a. F.G. de Bawr, 1772

Source : Bibliothèque Académie Roumaine



b. Rizzi Zannoni, 1774

Source : raremaps.com



c. Jakob T. Schmidt, 1775

Source : National Library of Bulgaria



d. Johann Christoph Rhode, 1785

Source : raremaps.com



e. H.C. Schmitz/Franz Muller, 1789

Source : MNIR



f. Neue Geographische Karte, 1792

Source : MNIR

Fig.11.1 Le delta du Danube sur les cartes à la fin du XVIIIème siècle

Sur les cartes publiées à la fin du XVIIIème siècle, deux grands canaux du delta sont présents, le Canal Dunavat et le Canal Sontea. Parfois, plusieurs petits lacs sont représentés sur le trajet du Canal Sontea (Fig.11.1 b, d). Sur certaines cartes, les régions Pardina et Matita-Merhei, ainsi qu'une bonne partie du delta fluvial, sont dessinées avec beaucoup d'îles et canaux (Fig.11.1 c, e). Des îles à l'embouchure du Bras Chilia sont également dessinées (Fig.11.1 a, c, d, e). L'habitat est souvent représenté dans la zone de Chilia (Kilia, Alt Kilia), de Letea (Leti, Kisla), ainsi qu'au sud du Bras Sulina, dans l'île de Sf. Gheorghe (Strawiko, Czevenskik, Spera). Ce qui surprend est l'absence du bras Sulina sur les cartes.



a. Alexander Wilbrecht, 1804
Source : Boston Public Library



b. M. Konrad, 1822
Source : MNIR



c. Inconnu, 1825
Source : hungaricana.hu



d. James Wild, 1828
Source : Library of Congress



e. F. Fried, 1840
Source : MNIR



f. Alexander Findlay, 1852
Source : Atwood House Museum

Fig.11.2 Le delta du Danube sur les cartes de la première moitié du XIXème siècle

Les cartes de la première moitié du XIXème siècle (Fig. 11.2) n'amènent pas beaucoup plus de détails par rapport aux cartes déjà présentées. La seule nouveauté est la présence de données bathymétriques de la mer Noire devant l'embouchure et tout au long de la côte du delta (Fig.11.2 a, f), fait qui témoigne de l'importance des embouchures du Danube pour la navigation.



a. Carte russe du Danube 1771 ; Source : University of Leiden, Netherlands



b. Carte autrichienne du Danube 1778 ; Source : State Archives, Vienna, Austria



c. Carte française du Danube 1820 ; Source : Bibliothèque Nationale de France, Paris, France

Fig.11.4 Les premières cartes centrées sur le delta du Danube

Concernant le delta, les trois bras principaux sont bien identifiés, avec les deux zones de partage des eaux, en amont de Tulcea pour le Bras Chilia et en aval de Tulcea pour les bras de Sulina et Sf. Gheorghe. Les bras de Chilia et Sulina ont reçu une attention particulière, les cotes de profondeur d'eau étant marquées tout au long des bras, ainsi qu'en mer, devant les embouchures. Apparaissent aussi les deux zones en tresses localisées sur le Bras Chilia, au nord des régions de Pardina et Matita-Merhei. Cinq petites îles sont représentées, préfigurant le futur delta secondaire du Bras Chilia.

Le Canal Sontea, qui fait la liaison entre les bras de Chilia et de Sulina est lui aussi dessiné. Même si bien évidemment on doit prendre en compte une possible évolution naturelle du delta, on constate que, pour tout le delta, la cartographie des méandres des bras n'est pas très fidèle si on la compare avec les cartes produites environ un demi-siècle plus tard. Quelques lacs, connectés au bras principaux par des canaux, sont également cartographiés ; ainsi, dans la moitié nord du delta, les lacs Fortuna, Raducului (Redoukoul), Matita (Maliza) et Merhei (Mirchiou) pour donner quelques exemples parmi les plus grands, et dans la moitié sud les lacs Obretin (Obrechene) ou Rosu (Rashoul). La localisation des lacs sur la carte n'est pas très exacte non plus, l'erreur la plus évidente étant le cas de ceux de Matita et Merhei, exagérément déplacés vers l'est, près du littoral.

L'habitat est présent dans la zone de Chilia, de Caraorman, de l'embouchure des bras de Sulina, Chilia et Sf. Gheorghe, ainsi que dans la zone de Letea. Des routes sont dessinées pour la première fois dans le delta, permettant la liaison entre l'embouchure de Sulina, en suivant la côte, et la région de Letea, et entre la partie médiane du Bras Sulina et la zone de Caraorman.

Huit ans plus tard, en 1778, on retrouve la même carte en version autrichienne (Fig.11.1 b), et un peu plus tard, en 1820, on reconnaît les mêmes traits sur une carte française (Fig.11.1c). Si la carte française de 1820 semble une copie assez fidèle de la carte autrichienne de 1778, on remarque quelques différences avec la carte russe. Les routes situées sur la côte entre l'embouchure Sulina et la région de Letea ne sont plus représentées, ainsi que l'habitat de l'embouchure Sulina et Sf. Gheorghe. En revanche quelques éléments de végétation sont dessinés sous la forme d'arbres dans les zones de Caraorman et Letea.

La carte turque du XVIIIème siècle

La carte turque sur la plaine de Dobrogea du XVIIIème siècle (Fig.11.5), réalisée à une échelle inconnue, mais plus petite que la carte présentée auparavant, nous donne une image du delta très intéressante. Les trois bras principaux sont bien identifiés, et les embouchures sont nommées en langue turque : Kili Bogazi (Embouchure de Chilia), Sunne Bogazi (Embouchure de Sulina) et Hizir-Ilyas Bogazi (Embouchure de Sf. Gheorghe). La surreprésentation graphique du Bras Chilia fait écho à son importance concernant le volume d'eau et des sédiments transportés. De même, d'après l'épaisseur des traits représentant les bras, le Bras Sulina semblerait être plus important que le Bras Sf. Gheoghe. Cette hiérarchisation n'est d'ailleurs peut-être pas liée au volume d'eau transporté, mais plutôt à l'importance de ce bras par rapport à la navigation. Sur le Bras de Sulina on distingue la forme des méandres connus sous le nom de « grand M ».



Fig.11.5 Carte turque « La plaine de Dobrogea », sec. XVIII
 Source : Coman&Yenikale, 2015

Un canal important du delta est aussi représenté, le canal Dunavat qui fait la liaison entre le Bras Sf.Gheorghe et le Lac Razim situé au sud du delta. Le Lac Razim communique avec le Lac Babadag et avec la mer Noire. Quelques lacs sont dessinés au nord du Bras Sulina dans la partie amont, avec un réseau de canaux qui les lient, un autre juste au sud, dans la partie mediane (Obretin ?), ainsi que trois lacs près de la mer, dans la région Rosu-Puiu. La représentation du Bras Chilia en tresse et sa largeur laissent à penser au fait que les régions de Pardina et Matita-Merhei ne sont pas encore achevées dans leur configuration actuelle, les grand lacs représentés ici sur les cartes précédentes étant en train d’être remblayés de sédiments. On remarque aussi le delta secondaire du Bras Chilia qui commence à se former avec quatre îles un peu plus grandes situées dans la mer au nord et face à l’embouchure, et trois plus petites un peu au sud de l’embouchure.

La direction d'écoulement est matérialisée sous la forme des flèches pour les bras Chilia, Tulcea et Sf. Gheorghe, ainsi que pour le Canal Dunavat. L'habitat est présent seulement dans la région de Chilia, avec Chilia Noua (Kili Kal'si), situé au nord du Bras Chilia, dans sa partie médiane et dessiné sous la forme d'une ville fortifiée, et Chilia Veche (Eski Kili), au sud du bras, dans la même région.

La carte autrichienne de 1826

En 1826 les autrichiens nous proposent une carte sur la région du Bas Danube, territoire contrôlé par les turcs (Fig.11.6), sur laquelle le delta est assez bien présenté.



Fig.11.6 La carte Autrichienne du Bas Danube

Source : wildernis.eu

La forme des méandres des bras Sulina et Sf. Gheorghe est une représentation inédite, différente de ce qui avait été publié auparavant. Les trois bras principaux sont dessinés d'une façon réaliste, le Canal Dunavat (Dunavecz Fl.), faisant la liaison entre le Bras Sf. Gheorghe et le Lac Razim (See Ramsin) est aussi présent. Un peu plus surprenante est la largeur du Canal Sontea, qui fait la liaison entre le Bras Chilia et la partie médiane du Canal Sulina. Il a

été peut-être été représenté en englobant des petits lacs des régions adjacentes. A l'embouchure du Bras Chilia une dizaine de petites îles sont également dessinées.

On remarque dans la moitié nord du delta la présence de cinq lacs, communiquant par un petit réseau de canaux. Ils sont placés de façon peu réaliste dans la partie est de cette zone, assez proche du littoral. Dans la moitié sud une dizaine de lacs non identifiés sont dessinés, répartis de façon uniforme sur ce territoire avec leur réseau de canaux. Au sud, trois communications entre le Lac Razim et la mer Noire sont nommées : Jalova Kutsuk Bogasi, Portesa Bogasi et Kurte Bogasi.

L'habitat est, lui aussi, présent dans la zone de Chilia (Kilianova, Eski Kilia) et Letea, aux embouchures de trois grands bras, ainsi que dans la partie médiane du Bras Sf. Gheorghe et sur la côte entre Sulina et Sf. Gheorghe. Un réseau de routes est également dessiné. Une route fait la liaison entre Tulcea et Ismail. Elle est le point de départ d'une autre route qui suit le Bras Chilia au sud, en passant par Letea et qui arrive à Sulina. Une nouvelle route part de l'embouchure Chilia, passe par Letea et traverse le Bras Sulina pour arriver dans la partie médiane du Bras Sf. Gheorghe, en suivant probablement les rides Letea et Caraorman. Cette route est liée aussi à Sulina et descend ensuite vers le sud pour rejoindre à nouveau le Bras Sf. Gheorghe, en amont de son embouchure.

La carte russe de 1835

La carte russe de 1835, nommée « Carte du théâtre de guerre en Europe entre 1828 et 1829 », a très probablement été réalisée pendant la guerre russo-turque de 1828-1829, quand toute la partie de Nord de la Dobrogea était occupée par les troupes russes. Elle a été dessinée à l'échelle du 1 : 420 000, sous la direction du Grand État-Major Russe.

Cette représentation intégrale du delta du Danube montre, pour la première fois, de nombreux détails en dehors des trois grands bras et des axes de circulation. On observe notamment un travail important pour représenter les grands complexes lacustres et le détail des chenaux qui lient chacun de ces lacs aux bras principaux. Des grands lacs sont représentés dans la région de Pardina, Matita-Merhei, Rosu-Puiu et Dranov. On reconnaît les grands lacs Gorgova et Obretin.

On remarque aussi l'attention donnée aux détails aussi dans la représentation du delta secondaire du Bras Chilia ainsi que dans les méandres du Canal Dunavat. On observe également le petit méandre du bras Sulina dans la région du village actuel de Mila23. Le Bras Sulina, certaines parties du Bras Chilia, ainsi que des parties sur la côte entre les embouchures Sulina et Chilia sont jalonnées par des cotes qui ne semblent pas être équidistantes.



Fig.10.7 La carte russe de 1835

Source : Bibliothèque de l'Académie Roumaine à Bucarest

La qualité et la quantité des détails, surtout à l'intérieur du delta, sont remarquables et ne seront d'ailleurs pas atteintes par les premières cartes réalisées par la Commission Européenne du Danube un demi-siècle plus tard.

La carte russe de la Moldavie de 1843

La carte de la Moldavie – Bessarabie de 1843 (Fig.11.8) est une autre production cartographique russe. Les traits de la carte nous montrent qu'il s'agit d'un cartographe différent par rapport à la carte de 1835 ; la direction du Bras Sulina, à partir de sa moitié orientée nord-ouest sud-est, étant un exemple. La quantité des détails dessinés à l'intérieur du delta est moins importante que sur la carte de 1835.

Cette carte décrit les trois bras principaux et montre surtout la présence de nombreux lacs dans les régions de Pardina, Sontea, Matita-Merhei, reliés entre eux par un réseau hydrographique secondaire, lacs la plupart du temps ignorés par les cartographes anciens. On distingue le Canal Sontea qui relie le Bras Chilia et Sulina. On reconnaît les grands lacs Fortuna, Gorgova, Obretin, Lumina et Rosu.



Fig.11.8 Carte de la Moldavie en1843
Source : MNIR

Le delta secondaire du Bras Chilia est dessiné avec six embouchures et plusieurs petites îles. Une forme en pointillé est portée au sud de la région de Pardina, pouvant symboliser la Ride Stipoc. Deux types de végétation sont également représentés : le roseau, omniprésent, et des forêts sur les rides sableuses de Letea et Caraorman, ainsi qu'au nord de l'embouchure Sf. Gheorghe sur la Ride Saraturile. L'habitat à l'intérieur du delta n'est pas représenté, à part quelques bâtiments situés à l'embouchure du Bras Sulina. La région du delta située au sud du Bras Sf. Gheorghe n'est pas dessinée sur cette carte, car à l'époque ce bras faisait frontière entre l'Empire russe et l'Empire ottoman.

General-Karte von der Europäischen Türkei de 1853

Une autre carte a attiré notre attention pendant cette période : la Carte Générale de la Turquie Européenne (Fig.11.9) publiée en 1853 par Heinrich Kiepert, juste au début de la guerre de Crimée. Kieper, un géographe allemand, devient un spécialiste de l'Empire ottoman suite à plusieurs voyages réalisés entre 1841 et 1848. Le territoire couvert par cette carte est assez grand, les Balkans, mais le delta est dessiné avec beaucoup de détails.

Sur cette carte nous avons une première partition du territoire du delta en îles : Ile Ceatal (I. Tschalal) pour la région délimitée par le Bras Chilia, le Bras Sulina et le Canal Sontea (Schonda Arm) ; Ile Letea (I. Leti) pour le reste du territoire situé entre les bras Chilia et Sulina ; Ile Moische (?) pour le territoire délimité par les bras Sulina et Sf. Gheorghe et Ile Dranov (I. Dranow) pour le territoire situé au sud du Bras Sf. Gheorghe.

Les trois bras principaux sont dessinés de façon réaliste, avec des détails comme des îles dans la moitié amont du Bras Sf. Gheorghe, les îles de l'embouchure du Bras Chilia, ainsi

que deux petites îles à l'embouchure du Bras Sf. Gheorghe. Des lacs sont représentés dans toutes les régions, reliés par un réseau de canaux, certains étant nommés, comme par exemple le Lac Gorgova (Gorgul S.) ou le Lac Obretin (Obreteno S.).



Fig.11.9 General-Karte von der Europäischen Türkei (extrait), Heinrich Kiepert, 1853
Source : davidrumsey.com

L'habitat à l'intérieur du delta est représenté par seulement un village dans la région de Letea, nommé Kischla, et un phare (Leuchtturm) est également cartographié à l'embouchure du Bras Sulina. Deux routes sont matérialisées sur la carte. La première part de Chilia (Kilia) dans la partie médiane du Bras Chilia, traverse la région de Letea et arrive à l'embouchure du Bras Sulina. Ensuite cette route se poursuit au sud du Bras Sulina pour arriver un peu en amont de l'embouchure du Bras Sf. Gheorghe. La deuxième route part de l'embouchure du Bras Chilia, passe dans la région Letea, traverse le Bras Sulina et le Bras Sf. Gheoghe dans leurs parties médianes, traverse encore le Canal Dunavat pour arriver au village de Dunavat.

La carte turque du XIXème siècle

La carte du delta du Danube datée du XIXe siècle (Fig.11.10) est le document cartographique turc qui décrit le mieux ce territoire, sa représentation étant très proche de celle que l'on connaît aujourd'hui.

Les trois bras principaux, des bras secondaires, et beaucoup de lacs sont dessinés par l'auteur. Les régions de Pardina et Matita-Merhei semblent achevées, et le delta secondaire du Bras Chilia est en train de se former. Cette carte montre aussi des éléments liés à la végétation sous la forme de forêts situées sur les rives du delta. L'habitat est lui aussi représenté avec les deux types d'installations humaines connues dans le delta (Gatescu et al, 1998). Le premier type d'habitat correspond aux villes et villages situés la plupart du temps à l'extérieur du delta, en hauteur et sur un substrat rocheux. Ce sont des sites dont l'installation est liée à la présence dans la région deltaïque des grecs et des romains. L'ensemble de ces sites est relié par des routes et chemins, que ce soit au Nord ou au Sud du delta. D'autre part, cette carte turque répertorie assez bien les villages situés au cœur du delta. Ils sont pour la plupart situés le long des trois bras principaux, mis à part un village à proximité de plusieurs lacs au Sud-Ouest de Sulina.



Fig.11.10 Carte turque du delta du Danube, sec. XIX

Source : Coman&Yenikale, 2015

On remarque la présence des routes généralement tracées à l'extérieur du delta, au nord et au sud, et dans la partie littorale, à l'exception du chemin qui relie Sulina avec le village de Caraorman, situé sur la rive du même nom. A part ces routes, les villages sont reliés les uns aux autres par les voies d'eau, voire isolés à l'intérieur du delta pendant l'hiver quand le Danube gèle. On distingue également des travaux réalisés à l'embouchure du Bras Sulina sous la forme de deux petites digues qui prolongent un peu les berges du bras dans la mer.

11.4 Les projets d'aménagement

Cette période voit aussi apparaître les premiers projets d'aménagement dans le delta du Danube. A cause des conditions difficiles pour la navigation à l'embouchure du Bras Sulina, Aj Haj al Khalil est chargé à partir de 1767 de proposer un projet d'aménagement. Il envisage la construction de deux digues, une première d'une longueur de 900 zira (681,966 m) à l'intérieur du bras, pour fermer tous les petits canaux qui partaient du bras principal ; et une deuxième, d'une longueur de 700 zira (530,418 m) qui prolonge le Bras Sulina dans la mer. Un devis est envoyé à Constantinople en 1767, mais les travaux sont réalisés seulement après la guerre russo-turque de 1768-1774, probablement à partir de 1775. Selon certains témoignages, le barrage aurait été endommagé au cours de l'année 1781 (Tatu, en cours de publication).

Sur un plan du cours du Danube de 1779 (Fig.11.11), à l'échelle 1 : 100 000, on distingue des détails sur la zone de Sulina. La construction la plus proche de la mer, située sur la rive gauche, est un bâtiment militaire, une vieille tour de défense construite après 1745 et agrandie en 1764 (Sambra, 2018). On distingue un phare (Leuchtturm) sur la rive droite, à côté d'un bâtiment militaire, et deux autres bâtiments situés un peu plus en amont.



Fig.11.11 Plan des Donau-Stroms von Zemlin bis Ruszug, 1779

Source : hungaricana.hu

Dans la mer on observe des débris de piliers (Altes Beschlagt), restes probables d'un vieux phare, et deux balises (Tonnenzur Anzeige der Wasserfahrt) pour signaler l'accès au chenal navigable. L'épave d'un navire échoué à l'embouchure du bras (verfunkened Shif) témoigne des difficultés de navigation.

Wenzel Edler von Brognard, un diplomate autrichien à Constantinople fait un voyage en 1786 de Constantinople à Vienne et raconte ce qu'il a vu dans son journal de voyage, publié en décembre 1786 à Vienne (Sambra, 2018). Le village Sf. Gheorghe qu'il appelle Edreles est assez grand, avec plus de 120 maisons, mais de mauvaise qualité. Sulina (Sunnia) est la route préférée des navires pour monter le Danube. Ici on retrouve quelques maisons, 11 cafés et une mosquée.

Etant donné la situation difficile pour la navigation dans l'embouchure, l'Empire ottoman a fait appel à la France qui a envoyé les officiers Comte de Chabannes et M. Brentano. Ils ont voyagé en septembre 1784 de Vienne à Constantinople, en s'arrêtant plusieurs journées à Sulina pour mesurer toute la zone et proposer un projet d'aménagement (Fig.11.12 a).

Ils ont proposé la construction d'une digue en bois qui prolonge dans la mer la rive gauche, d'une longueur de 756 m (Tatu, en cours de publication) dotée d'une construction militaire pour la défense, mais qui pouvait porter aussi un phare. Le plan français n'a pas été réalisé car les travaux ont été considérés comme trop difficiles et onéreux.



a. Plan français d'aménagement 1784
Source : Brognard, 1786 dans Sambra, 2018



b. Plan d'aménagement de l'architecte moldave 1785
Source : Brognard, 1786 dans Sambra, 2018

Fig.11.12 Projets d'aménagement de l'embouchure du Bras Sulina

Au printemps 1785, les turcs commandent d'autres plans (Fig.11.12 b) réalisés par un architecte moldave et adaptés au style turc. Ces plans prévoyaient la prolongation des deux rives, gauche et droite, dans la mer avec des poteaux pour canaliser le flux d'eau. Un budget important est prévu en 1786 (500 000 piastres), mais les travaux ne sont pas achevés et sont repris en 1818 sous la direction du Kara Osman Oglu (Tatu, en cours de publication).

11.5 Les récits des voyageurs

Durant cette période, des informations concernant le delta du Danube ont été rapportées par les voyageurs qui ont traversé en bateau le delta. La voie d'accès privilégiée est le Bras Sulina, considéré par certains voyageurs et marins comme le seul navigable (Charles de Bois-Le-Compte, 1834) ou le bras principal (Spencer, 1836), même si d'autres chemins sont possibles. Le plus court trajet de Constantinople à Galati passait par l'embouchure de Portita dans le Lac Razim, et ensuite par le Canal Dunavat jusqu'au Bras Sf. Gheorghe. Cette route posait des problèmes de navigation à cause de bancs de sable submergés de Portita et de la profondeur réduite du Canal Dunavat (Von Brognard, 1786). L'embouchure de Chilia était complètement envahie par la boue et celle de Sf. Gheorghe accessible seulement par les barques de pêcheurs (Thouvenel, 1840). D'ailleurs, une première ligne de transport des marchandises et de passagers de Vienne à Sulina *via* le Bras Sulina, est mise en place à partir de 1834 (Cernovodeanu & Busa, 2006). A partir de ce moment, les informations sur le delta deviennent de plus en plus abondantes.

Suite au traité de paix d'Andrinople en 1829, quand L'Empire russe prend le contrôle sur le delta, on constate un changement dans les conditions de navigation. « *La navigation de l'embouchure du Soulinich jusqu'à Galats et Ibraïl est généralement sans danger, elle peut être faite dans 5 jours, n'y ayant pas de marée. On peut trouver à l'entrée d'en bas 3 ou 4 hommes qui conduiront le navire dans tous les détours. Depuis que, par un traité avec la Porte, la Russie a en sa possession ce cours d'eau les moyens de conserver son Canal ont été négligés et par conséquent il a été réduit dans des endroits aux deux tiers de sa profondeur indiquée sur la Carte* » (Gautier, 1851).

Ami Boué (Boué, 1840) nous parle d'ailleurs de l'intérêt des grands états européens pour la navigation et le commerce sur le Danube et des mesures prises par les russes pour en garder le contrôle. « *Les russes doivent faire attention que la navigation sur le Danube ne soit pas utilisée à leur désavantage et que le commerce des principautés ne soit pas accaparé par les anglais, les autrichiens et d'autres étrangers. Ils souhaitent contrôler la navigation de ce fleuve, parce-qu'ils ont fait de sorte que, après le traité d'Andrinople, les embouchures et le delta rentrent sous leur influence. La rive droite, turque, du delta, doit rester inhabitée pour une distance d'une lega (it. ~4,5-5km), pour ne pas donner l'occasion aux turques de se mêler dans la navigation* ». Boué nous donne aussi d'autres informations concernant la circulation dans le delta et des projets d'aménagement des russes : « *Sulina-Bogasi ou Sulina est le seul bras assez profond pour rentrer sur le fleuve. On dit que les russes ont bouché le bras de Sf. Gheorghe, qui est moins profond. Pour retourner à Sulina, on perd beaucoup de temps à cause des méandres du fleuve et à cause de la nécessité d'attendre des vents favorables. Le canal de Sulina a tendance à se colmater, depuis que les russes ont négligé les travaux d'entretien faits par les turques. Dans ce but, un italien de Galati a proposé de prendre en charge ce service. Ses offres seront-elles acceptées par la Russie? Nous l'espérons, pour l'honneur de ce pays. En attendant, le gouvernement russe est préoccupé d'établir un peuplement à l'entrée de Sulina sous prétexte qu'il sera utile aux marins ; autrefois il n'y avait qu'un phare. Peut-être plus tard des fortifications vont s'ajouter. Cette occupation*

subversive des russes est une des choses qui nous indiquent la politique conséquente, fine et maline des muscovites. »

Les russes refusent d'utiliser les méthodes qui ont donné des résultats pendant la période turque pour l'entretien de l'embouchure de Sulina. Chaque navire qui quittait le fleuve en allant vers la mer tirait une espèce de râteau énorme, ce qui était suffisant pour mettre en suspension les sédiments déposés à l'embouchure, ceux-ci étant ensuite naturellement évacués dans la mer par le courant du Danube (Ardeleanu, 2012).

Même si le Bras Sulina n'est pas la frontière entre les deux empires, des postes russes sont alignés sur la rive gauche le long des berges, comme sur une frontière militaire, pour contrôler la navigation et le commerce sur ce bras (Grisebach, 1839). Là où le fleuve se divise et le canal Sf. Gheorghe va vers le sud était stationnée une canonnière avec un canon long et deux plus petits. A environ un demi mile avant la station Sulina, il y avait une autre canonnière, et une troisième à la station même (Bailie Fraser, 1836).

Bartolomeo Geymet, consul du Royaume de Sardaigne à Galati entre 1837 et 1843 fait, dans un rapport de 1838, un petit point sur le commerce, le nombre et la provenance des bateaux : *« Le Danube qui, il y a quelques années, n'était fréquenté que par quelques bateaux turques ou grecques, est maintenant traversé par un nombre considérable de ces derniers. Sur une centaine nous avons environ 40 turques, 35 grecques, 20 sardes et 5 impériales, la plupart en venant de Trieste. Cette augmentation de la navigation a été réalisée progressivement sur une durée de 6-7 ans et l'on peut établir incontestablement que c'est grâce aux activités d'export des frères Pedemonte. Ils sont ceux qui ont donné un premier élan au mouvement commercial dans ce pays. Le nombre de navires à vapeur qui ont traversé Sulina en 1837 à destination des ports danubiens atteint 1010. »* (Geymet, 1838).

Sir Adolphus Slade prévoit déjà en 1838 l'avenir de Sulina : *« Des intérêts commerciaux ont tendance à transformer ce lieu dans un endroit influent. Le village que nous avons vu va se développer dans une ville importante, si, comme c'est inévitable, Sulina devient un centre du commerce sur le Danube. »* Il est aussi un fin analyste de la situation géopolitique : *« Ici la Russie pourrait utiliser sa position pour affecter la navigation sur le canal, en favorisant Sulina au détriment de Galati et Braila et contraindre les commerçants du Principat de placer leurs boutiques à l'embouchure du fleuve. Si ceci arriverait, la prospérité de Sulina est incalculable. La Russie pourrait utiliser au bon moment cet argument pour faire la Moldavie et la Valachie accepter une union avec elle, en faisant appel à leurs intérêts directs. L'importance de Sulina est ainsi liée à des événements politiques, elle sera toujours un lieu important, étant donné la nécessité de plus en plus évidente d'un port à l'embouchure du Danube, dans les conditions d'augmentation du commerce sur la mer Noire, mais son développement complet va dépendre beaucoup de l'existence politique des principautés. »* (Slade, 1838).

Si les prémisses étaient favorables et les intérêts multiples, la navigation sur le Bras Sulina, qui est un bras sinueux (Partenie, 1840), posait beaucoup de problèmes. D'abord l'entrée sur le Bras Sulina était très étroite. *« Un bateau coulé bloque l'entrée à moitié. Un deuxième bateau naufragé au même endroit aura fermé entièrement cette bouche du*

Danube. » (Grisebach, 1839). Même si en théorie l'embouchure de Sulina permet le passage des bateaux de 300 tonnes (Thouvenel, 1840), ici le Danube est si peu profond que les bateaux bien chargés sont en détresse pour rentrer dans le port (Chrismar, 1833). Pour rentrer sur le Bras Sulina les bateaux doivent décharger une partie de leur charge (Charles de Bois-Le-Compte, 1834) ; ceci en raison d'un banc de sable, la barre de Sulina (Vane, 1840), situé à l'embouchure mentionnée par James Bailie Fraser en 1836 (Bailie Fraser, 1836) et Sir Adolphus Slade en 1838 (Slade, 1838). « *On dit que le banc de sable, qui se trouve maintenant à une profondeur de 10-12 pieds, est en train de monter, et les russes sont accusés de négliger les moyens évidents pour empêcher l'accumulation de sable, pour assurer la prospérité de Sulina. Je ne peux pas dire si le banc de sable est en train de monter ou non, mais ça c'est la tendance sans doute si on n'intervient pas sur l'action « naturelle » de l'écoulement d'eau. (...) Si le banc de sable est infranchissable pour les bateaux chargés, la valeur de Sulina sera considérablement diminuée. (...) Beaucoup de bateaux préfèrent décharger leurs marchandises à l'embouchure et remplir leurs bateaux avec d'autres, à cause des obstacles de navigation sur le canal et à cause de la glace pendant l'hiver. ... A part ça, à la moitié du bras Sulina, 18 miles avant l'embouchure il y a une berge qui oblige les grands bateaux de décharger pour réduire leur poids pendant un demi-mile* » (Slade, 1838). L'accès en amont sur le Bras Sulina était également difficile : « *Au point de séparation des bras Sf. Gheorghe et Sulina, le dernier fait un angle raide vers la gauche et le canal est si étroit qu'un bateau long peut difficilement monter par ici* » (Slade, 1838). « *Dans certains endroits le Danube est si étroit que deux navires qui se croisent peuvent à peine se déplacer en toute sécurité* » (Chrismar, 1833). « *Ici et là, des navires échoués et des mâts flottant nous rappellent que le Danube, comme la mer, a ses tempêtes et ses dangers* » (Thouvenel, 1840).

Les paysages du delta aperçus par les voyageurs sont décrits comme « *tristes et monotones* » (Thouvenel, 1840), « *des marais infinis* » (Chrismar, 1833), le voyage étant « *tout sauf agréable* » (Spencer, 1836), et où il n'y avait « *rien d'intéressant à l'œil de l'observateur* » (Fraser, 1835-1836). Les voyageurs sont très déçus par la vue des paysages rivulaires du Danube depuis Sulina jusqu'à Galati (Barker, 1838), où il n'y a « *que du roseau et de l'herbe* » (Fraser, 1835), et « *des moustiques et d'autres insectes qui deviennent de plus en plus nombreux* » (Spencer, 1836).

La navigation se faisait le long de lacs immenses avec de petites îles marécageuses, rangées sur les divers bras du fleuve. « *Les berges de ces îles sont remplies de cygnes, hérons, cormorans, pélicans, oies, canards, grues et d'autres oiseaux d'eau* » (Morot, 1839). Sont également signalés des marais à perte de vue. « *Le Danube fait des nombreux virages et les berges sont couverts par du roseau de grand taille, une multitude des mouettes, canards, oies et pélicans animent ces étendues inaccessibles* » (Chrismar, 1833). « *Des champs marécageux couverts par du roseau et ici et là des groupes des saules* » (Barker, 1838). « *Le delta du Danube est une vraie mer avec beaucoup d'îles s'étendant sur plusieurs miles que l'œil peut voir dans toutes les directions. Ces îles sont pour la plupart marécageuses, avec peu de végétation, voire sans végétation, à l'exception de quelques buissons. En ce qui concerne les cultures elles sont totalement absentes, tout est une terre désolée* » (Spencer, 1836).

Le cours du Bras Sulina se rétrécit parfois en passant entre « *des îles dont la solitude est perturbée seulement par d'innombrables groupes de pélicans* », ou parfois s'étale sur une énorme étendue d'eau (Thouvenel, 1840). « *Des oiseaux d'eau sans nombre annoncent l'approche de la mer. Les mouettes nagent et s'agitent au-dessus de la surface de l'eau du fleuve. Des groupes de pélicans au plumage multicolore, gris taché de noir, de rouge, de rose qui s'éclaircit jusqu'au blanc, nous ont laissé les observer de tout près, sans avoir peur du bruit des roues en mouvement* » (Grisebach, 1839).

Adolphus Slade mentionne également des déserteurs et fugitifs russes, qui sont nombreux à la frontière turque et souvent deviennent des bandits qui cherchent abri dans les marais et les forêts du delta du Danube (Slade, 1838).

Nous avons aussi des informations concernant l'habitat de Sulina, qui est un village fondé et habité par les russes (Puckler-Muskau, 1839), sur un terrain bas qui fait qu'il est souvent inondé par les tempêtes qui viennent de la mer (Partenie, 1840). « *Cette station était formée de trois bâtiments entourés d'une clôture en bois, qui formaient la léproserie, et encore deux autres bâtiments destinés aux officiers et aux soldats qui faisaient partie du détachement stationné ici* ». Sur la rive droite il y avait « *environ 6 maisons en bois et quelques baraques et des montagnes de bois de construction* » (Baillie Fraser, 1836).

Quelques informations concernant l'île de Ceatal nous sont fournies par Andrault de Langeron, noble français qui a été général dans l'armée russe pendant les guerres russo-turques de 1787-1791 et 1806-1812 (Filitti et al., 2004). « *Entre le bras Chilia et Sulina et le Canal Sontea se trouve l'île de Ceatal, un terrain très bas, couvert par des marais et roseaux et traversé par des canaux, qui est inondé au printemps* ». En 1790 au moment de l'attaque de la ville d'Izmail, cette île était sèche. En 1807, l'île de Ceatal était absolument impraticable, sauf le côté qui s'étend le long du Danube, où il y avait une route sur une zone un peu plus surélevée, mais soumise aux inondations.

Le delta comme porte d'entrée joue un rôle considérable pour la navigation de commerce entre la mer Noire et l'intérieur des terres. Mais cette porte d'entrée a connu pendant de nombreuses années une instabilité géopolitique qui n'est pas favorable à son développement. « *Pendant les premières années qui suivirent la prise de possession du Delta par la Russie il y eut des plaintes fréquentes, principalement de la part de l'Autriche, contre le mauvais état de l'embouchure du fleuve et de pressantes instances furent faites auprès de la Russie pour qu'elle fit draguer le chenal... On commença alors à accuser la Russie, non seulement de ne rien faire pour l'enlèvement des bancs qui obstruaient l'embouchure de Soulina, mais d'y couler même des navires afin d'aggraver encore l'état naturel des choses et cela, à l'effet d'empêcher le commerce maritime d'Odessa de souffrir de l'importance croissante de celui du Danube* » (extrait du discours de Colonel sir John Stokes, premier Délégué de Grande-Bretagne à la Commission Européenne le 22 avril 1890 ; CED, 1931). Les conditions de navigation dans le delta semblent de meilleure qualité lors de la période ottomane entre 1790 et 1812. « *On pouvait en effet remarquer qu'en 1853 l'embouchure de Soulina n'avait qu'une profondeur de 7 pieds et demi (2m. 28), alors qu'au temps où la Turquie avait la souveraineté sur le Delta, la profondeur à l'embouchure était plus grande ;*

certain auteurs affirment même que la profondeur moyenne était alors de 16 pieds (4 m. 88) à l'embouchure, en employant simplement le râteau ou en établissant dans le fleuve une espèce de palissade légère en bois pour rétrécir le lit, ou même en combinant ces deux procédés » (CED, 1931). Le râteau dont il est fait mention dans cette citation serait un outil élaboré par les turcs et trainé sur les fonds de boue et de sable de l'embouchure pour que ces sédiments une fois remis en suspension soient évacués par le courant des eaux du fleuve. Les turcs auraient également réalisé une « *palissade* » en bois dans le but de resserrer le courant et dont nous n'avons pas de traces dans les sources à ce jour. Le témoignage de Engelhardt va également dans ce sens : « (...) *un pacha eu l'idée d'obliger chaque bâtiment qui sortait du Danube à traîner à l'arrière, en franchissant la barre, une herse fixée à une lourde chaîne. En remuant ainsi le fond vaseux de la passe, on réussissait, dit-on, à y maintenir une profondeur de 12 à 15 pieds* » (Engelhardt, 1870). Ce même auteur décrit les ouvrages turcs dans l'embouchure de Sulina : « (...) *une estacade en pilotis serrés s'avancait vers la mer, et prolongeait ainsi sur la barre du courant fluvial. On n'a trouvé aucun vestige de cet ouvrage, dont plus d'un ingénieur met en doute l'existence passée* » (Engelhardt, 1870).

Conclusion du chapitre 11

Le delta du Danube, de par ses caractéristiques naturelles, est un espace « marginal », indécis, instable, changeant et d'accès incommode, où les multiples bras du fleuve enserrant de nombreux lacs. Face à ces caractéristiques, le delta est aussi un espace de repli, notamment pour les groupes minoritaires persécutés. « *Exposée à des inondations périodiques et à toutes les maladies qu'engendre l'humidité, la population qui occupe les deux îles du Danube inférieur est relativement restreinte, et, comme ce territoire est resté longtemps neutralisé, elle représente les nationalités les plus diverses* » (Engelhardt, 1870). Derrière ces quelques mots transparait le discours « hygiéniste » considérant les zones humides comme le centre de prolifération des miasmes et des maladies. Le delta du Danube est alors considéré comme un ensemble de « *plaines infectes* » (Engelhardt, 1870). Le delta de cette époque peut être considéré comme un « no man's land » où l'absence d'autorité encourage les actes de brigandage et de piraterie. « *Une bande d'écumeurs de mer s'empara de l'entrée du Danube* » dans les environs de Sulina (Engelhardt, 1870). Ailleurs, les habitants exploitent les modestes richesses du territoire à travers une recherche de complémentarité de pratiques encouragée par la nécessité et la survie. Jusqu'au milieu du XIX^{ème} siècle, le delta du Danube est un espace incertain et marginalisé qui vit au rythme des fluctuations du fleuve (crues, inondations), où une petite économie traditionnelle se met progressivement en place. Les traces de cette économie sont encore visibles aujourd'hui dans les paysages du delta. Cet espace incertain et marginalisé a commencé à s'ouvrir au monde à partir de 1856, quand le delta entre progressivement sous influence de l'Occident.

Les cartes du delta du Danube, à petite et à grande échelle, pendant cette première période de l'époque contemporaine, sont beaucoup plus réalistes qu'avant, avec une image du delta proche de celle d'aujourd'hui. Les trois grand bras, Chilia, Sulina et Sf. Gheorghe, sont

bien identifiés, tout comme les grands canaux Dunavat et Sontea. On note une dynamique spéciale à l'embouchure du bras nordique du delta, où le lobe Chilia III commence sa formation pendant cette période.

Chapitre 12

L'époque contemporaine après la création de la CED (1856-1940)

De la seconde moitié du XIXe siècle jusqu'aux années 1940, le delta du Danube, qui n'était pratiquement qu'un « désert aquatique », voit se multiplier progressivement les interventions et les aménagements, pensés selon une idéologie occidentale. Cette dernière se base sur deux idées : favoriser le commerce international via la navigation fluviale, et valoriser les terres du delta.

Suite à la guerre de Crimée, la Commission Européenne du Danube (CED) organisme nouveau créé par la Grande-Bretagne, la France, le Royaume de Prusse, l'Empire d'Autriche, l'Empire russe, le Royaume de Sardaigne et l'Empire ottoman, va gérer l'aménagement du Danube pour la navigation.

Grigore Antipa était un hydrobiologiste roumain qui a fait sa formation en Allemagne (1885-1892) à Iéna auprès d'Ernest Haeckel, un des créateurs de l'écologie. Il soutient son doctorat en 1891 sous la direction d'Haeckel. De retour en Roumanie il va gagner la confiance de la famille royale de Roumanie, ce qui va l'aider à obtenir la direction des pêcheries de l'Etat et mettre en place les premiers projets d'aménagement à l'intérieur du delta.



Le drapeau de la CED
Source : CED, 1931



Grigore Antipa dans son laboratoire
Source : Petrescu, 2005

Fig.5 L'époque contemporaine sous l'influence de la CED et d'Antipa

12.1 Les productions cartographiques

Avec la création de la Commission Européenne du Danube en 1856 commence une nouvelle étape dans la production cartographique concernant le delta. Sur une période de plus de 50 ans, la Commission va en effet produire plusieurs cartes et atlas de cartes nécessaires pour l'aménagement du delta pour la navigation.

12.1.1 La carte CED (T. Spratt) de 1856

Une première carte publiée par la CED en 1856 a été réalisée sous l'autorité du capitaine Thomas Spratt, assisté par G. Wilkinson et J. Stokes, au bord du H.M.S.V. Medina. La carte intitulée « *Plan of the St. George and Sulina Mouths of the River Danube* » (Fig.12.1) a été rédigée en anglais.



Fig.12.1 Carte T. Spratt, 1856
Source : British Library

Sur cette carte le delta n'est pas représenté dans sa totalité, seuls les bras de Sulina et Sf. Gheorghe étant dessinés. Le territoire du delta est divisé en îles : au nord du Bras Sulina l'île Ceatal (Chatal Island) et l'île Letea (Letti Island), et entre les bras Sulina et Sf. Gheorghe l'île Sf. Gheorghe (St. George Island). Au sud du Bras Sf. Gheorghe on retrouve l'île Dranov (Dranova Island). Sur le territoire de l'île Dranov le seul élément dessiné est le Canal Dunavat (Donavitza Branch). On remarque déjà l'importance qui a été accordée au Bras Sf. Gheorghe, beaucoup plus de mesures de profondeur de l'eau étant enregistrés sur celui-ci par rapport au Bras Sulina. La bathymétrie est réalisée aussi le long de la côte et devant les embouchures dans la mer Noire, encore une fois avec plus de mesures pour l'embouchure du Bras Sf. Gheorghe. Les environs du bras sont mieux cartographiés, un nombre important de lacs étant représentés, la majorité dans la moitié amont du bras. Seulement cinq lacs sont nommés : Murighiol (Mooru), Uzlina (Yuzlin), Uzlinet ? (Yuzlinetz) ainsi que les deux lacs localisés dans la moitié aval : Erenciuc (Yerintchuk) et Belciug (Belchuck). Au nord du Bras Sulina seulement quatre lacs sont représentés, trois à proximité du Ceatal Sf. Gheorghe, et un

quatrième dans la moitié inférieure du bras dans les environs du méandre aval du Grand M. Deux canaux sont représentés sur l’Ile Letea. Le Canal Papadia (Papadia River), situé dans la moitié amont, qui avec le Bras Sulina, delimita l’Ile Ilgani (Algani Island or Zelenoi Island). Le deuxième est une partie du Canal Sontea (Chonga River) qui rejoint le Bras Sulina dans sa partie médiane. On remarque aussi la végétation sous la forme d’une forêt située sur la Ride Caraorman, des groupes d’arbres situés au sud de cette ride et dans la partie amont de l’Ile Sf. Gheorghe, ainsi que sur les berges du Bras Sf. Gheorghe. Des arbres sont dessinés aussi dans l’Ile Ilgani, ainsi qu’en amont sur les berges du Bras Tulcea. Une description générale est donnée pour l’Ile Sf. Gheorghe : alternance de terre ferme et de lagunes (*Alternate strips of Dry Land and Lagoons*).

L’habitat est présent sur la carte le long des deux bras. Sur le Bras Sulina on remarque la ville de Sulina, déjà assez bien développée, avec les maisons organisées sur plusieurs rangées parallèles au fleuve, ainsi que d’autres bâtiments autour. Cette organisation avec des routes parallèles au Danube se retrouve encore aujourd’hui à Sulina, les noms de routes étant, à partir du fleuve, la première, la deuxième, la troisième... Un autre petit village est placé dans la moitié supérieure du bras, avant le Grand M, aux environs du village actuel de Gorgova. Une dizaine de blocs de deux-trois maisons s’étalent tout au long du bras. Sur le Bras Sf. Gheorghe plusieurs villages sont représentés, les plus grands étant, de l’embouchure vers l’amont : Sf. Gheorghe (Village of St. George ou Kédriilles), Uzlina (Yuzlin), Bestepe (Besh Tepeli), Baltenii de Jos (Karasoova), Ilganii de Jos (Prislava). On remarque encore une fois l’attention donnée par les cartographes à ce bras, une autre dizaine de petits blocs de maisons étant nommés sur la carte, la plupart aujourd’hui disparus.

Dans le coin supérieur gauche de la carte apparaît un croquis panoramique qui représente l’entrée est du village de Bestepe (Besh Tepeli). En arrière-plan on distingue les silhouettes des cinq collines (bes-cinq, tepe-colline en turc) considérées comme de bons repères pour la navigation quand on vient de la mer Noire. Deux autres croquis sont insérés dans la carte, parallèles au littoral dans l’Ile Sf. Gheorghe, qui représentent le port de Sulina et l’embouchure Sf. Gheorghe. Deux profils bathymétriques transversaux des embouchures Sf. Gheorghe et Sulina, placés en bas à droite sur la carte complètent les éléments graphiques de ce document.

12.1.2 La carte CED (T. Spratt) de 1861

En 1861 une nouvelle version de la carte de T. Spratt est publiée par la CED à l’échelle 1 : 166 400, préalablement aux grands travaux de calibrage du Bras Sulina. Bien que la projection cartographique ne soit pas spécifiée sur la carte, il s’agit très certainement de la projection Mercator, habituellement utilisée par la marine britannique sur ses cartes de navigation (Constantinescu, 2015). Ce document a été dressé par le même capitaine de l’armée britannique, Thomas Abel Spratt, assisté par G. Wilkinson, J. Stokes et J. Millard. Une note sur la carte précise que les levés de la rivière entre Galati et Macin ont été récupérés sur un document russe.



Fig.12.2 Carte T. Spratt, 1861

Source : British Library

Sur cette carte, le territoire du delta est dessiné dans sa totalité, mais malheureusement l'intérieur du delta reste peu cartographié, l'intérêt de la Commission s'arrêtant aux bras du fleuve importants pour la navigation.

Le Bras Chilia et ses embouchures sont présents sur la carte, avec la bathymétrie. On retrouve le Canal Sontea (Shonda River) en intégralité, qui sépare l'île Ceatal (Tchatal Island) de l'île Letea (Letti Island), et faisant la liaison entre les bras Chilia et Sulina. Le Canal Dunavat (Dunavetz Branch), situé dans l'île Dranov (Dranova Island), est lui aussi dessiné dans sa totalité, assurant la connexion entre le Bras Sf. Gheorghe et le Lac Razim (Razem or Razin Lake). De nouveaux éléments sont cartographiés sur l'île Dranov : le Lac Dranov (Hulubin Lake), ainsi qu'un canal par lequel il communique avec le lac Razim. Plusieurs lacs et canaux, qui n'ont pas été représentés sur la carte de 1856, sont dessinés sur l'île Sf. Gheorghe, ainsi que trois lacs dans la zone côtière, le grand Lac Obretin (Obreten Lake) et que plusieurs petits lacs et canaux situés dans la moitié amont de l'île. La cartographie de l'île Ceatal (Tchatal Island) est complétée avec plusieurs petits lacs et le grand Lac Furtuna (Furtuna Lake), ainsi que l'île Ilgani (Algany Is.) où deux lacs qui communiquent avec le Bras Sulina par deux canaux sont dessinés. Dans l'île Letea un grand lac est cartographié (Tatanir Lake), ainsi que d'autres plus petits, comme Ligheanca (Yidianka Lake) dans la zone de confluence du Canal Sontea avec le Bras Sulina, et trois autres situés plus au nord, à proximité de la Ride Letea. Sur la Ride Letea, située à l'est de l'île, une forêt est dessinée. On remarque la présence de la végétation tout au long des embranchements du Bras Chilia, ainsi

que sur les berges du Canal Sontea. L'absence de végétation sur le Bras Sulina est surprenante, mais c'était déjà le cas sur la carte de 1856. Par contre, la forêt située sur la Ride Caraorman, ainsi que les groupes d'arbres situés plus au sud, présents sur la carte antérieure, ne sont plus dessinés. En revanche une nouvelle zone de végétation est représentée sur la moitié sud de la côte de l'île Sf. Gheorghe. Cette carte montre les limites dans la représentation de certains éléments situés à l'intérieur du delta, le cas du Lac Obretin qui est mal localisé étant l'exemple le plus évident.

12.1.3 La carte CED (Spratt-Hartley) de 1867

Dans un premier atlas publié par la CED en 1867 se trouve une carte du delta intitulée « Plan du delta du Danube » (Fig.12.3). C'est la première carte publiée par la CED sur laquelle Charles Hartley, le futur ingénieur en chef en charge de l'aménagement pour la navigation du Danube, intervient. Les cartes qui vont suivre porteront beaucoup plus l'empreinte du grand ingénieur.



Fig.12.3 La carte CED (Spratt-Hartley) 1867
Source : CED, 1867

La carte a été dressée principalement d'après les levés faits par les officiers du H.M.S. britannique « Medina » sous la direction du Capitaine Spratt en 1857 et complétés d'après les levés faits par les Officiers de la Marine Impériale Russe en 1830 et 1857, ainsi que par les

arpenteurs de la Commission sous la direction de leur Ingénieur en Chef, Sir Charles Hartley. Toutes les levés bathymétriques de l'atlas sous la direction de Charles Hartley ont été réalisés par Robert Hansford et les cartes ont été dessinées par M.L. Dollfus de Meric. La carte est rédigée en français, qui a été d'ailleurs la langue officielle des documents de la Commission européenne du Danube.

L'échelle de 1 : 291 654 (4 milles marines = 1 pouce), plus petite que celle des cartes publiées auparavant par la CED, ne permet plus de faire figurer certains éléments comme la bathymétrie des bras. On remarque l'apparition de nouveaux lacs situés au sud et à l'est de la Ride Letea, ainsi que des routes situées dans la zone côtière du delta. La végétation est présente seulement sur les deux grandes rides Letea et Caraorman, sous la forme des forêts (Foret de Leti et Foret de Karaorman). La principale nouveauté de cette carte est l'apparition des toponymes au long du Bras Sulina qui vont être utilisés pour localiser les travaux effectués.

12.1.4 La carte Spratt-Kiepert de 1867

Une deuxième carte du delta est publiée en 1867 à Berlin. Il s'agit d'une carte réalisée sous la direction du géographe et cartographe allemand Heinrich Kiepert, à l'échelle 1 : 500 000, intitulé « Das Donau-Delta » (Fig.12.4). Kiepert a manifesté un intérêt soutenu pour l'Empire ottoman, où il a voyagé à de nombreuses reprises, recueillant suffisamment de données pour produire plusieurs cartes majeures du monde ottoman entre les années 1840 et 1890.



Fig.12.4 La carte Spratt-Kiepert de 1867
Source : wildernis.eu

Ce document est le résultat de la compilation de plusieurs cartes : la carte de 1856-1857 de T. Spratt, une carte britannique du delta du Danube de 1865, réalisée par Hydrographic Office of Admiralty, et des cartes de l'état-major autrichien et de l'état-major russe. Les informations ont été complétées par une campagne de terrain réalisée en Dobrogea par le géographe et géologue allemand Karl F. Peters.

La carte est plus complète que celles réalisées jusque-là par la CED, notamment dans les régions de Pardina, Matita-Merhei ou Puiu-Rosu. On reconnaît certains éléments tirés des cartes de la Commission, comme les lacs situés dans l'île Ceatal et le long du Bras Sf. Gheorghe, ou la localisation erronée du Lac Obretin, mais aussi des éléments venant des cartes russes, comme la Ride Stipoc, les rides situées dans l'île Dranov, ou le placement des lacs dans la région Matita-Merhei. Ce document cartographique est le résultat intéressant d'une compilation de cartes en provenance de sources différentes, travail que la CED n'avait réalisé que dans une petite partie du delta.

12.1.5 La Carte Russe de 1870

Une autre carte inédite dans cette période dominée par les productions de la CED est une carte russe publiée en 1870 (Fig.12.5).

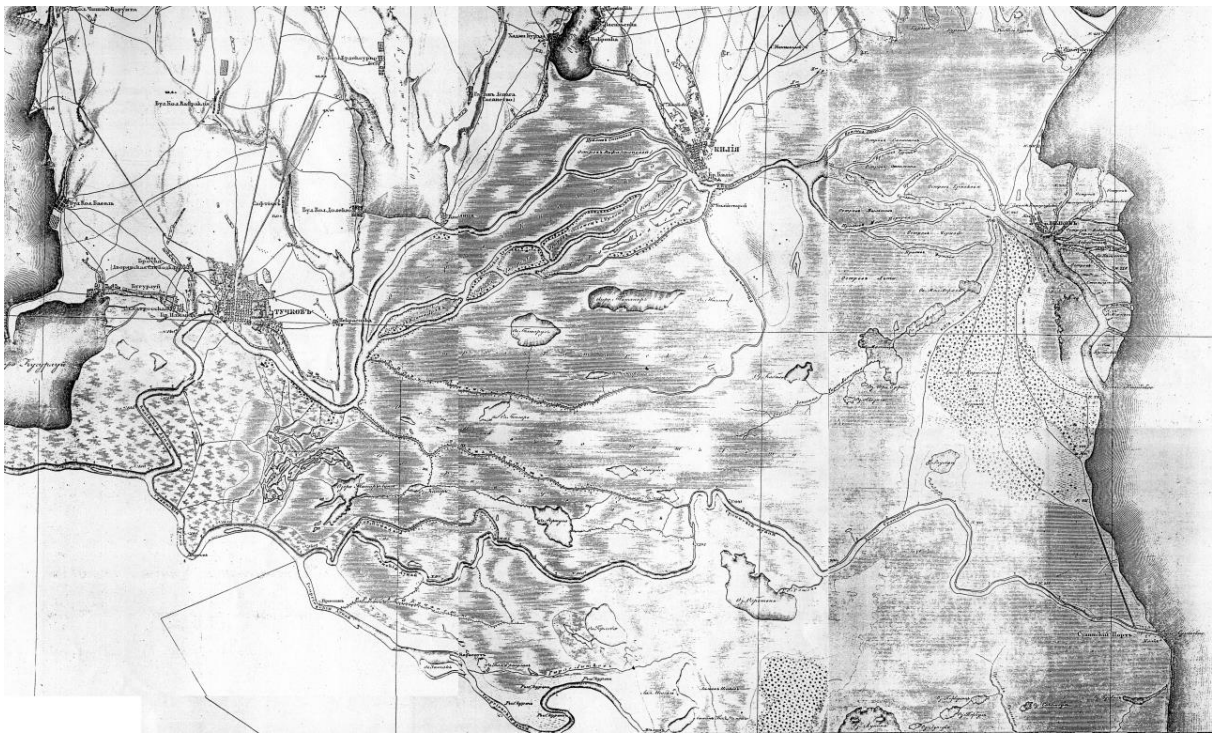


Fig.12.5 La Carte Russe de 1870

Source : wildernis.eu

On ignore les auteurs, ainsi que la projection cartographique et d'autres détails sur la réalisation de cette carte, mais on sait que les officiers de la Marine impériale russe ont fait des levés dans cette région en 1857 (CED, 1867). Ces actions témoignent de l'intérêt encore vif des russes pour les embouchures du Danube, même après la fin de la guerre de Crimée. En même temps, la carte nous montre que le territoire cartographié s'arrête sur le Danube et aux

bras Tulcea et Sf. Gheorghe, l'extension maximale du territoire occupé par les russes dans l'histoire.

Les feuilles des cartes récupérées ne couvrent pas la totalité du delta, la partie sud de l'île Sf. Gheorghe, ainsi que l'île Dranov étant absentes. On ne retrouve plus la multitude des lacs cartographiés par les ingénieurs de la CED à l'intérieur de l'île Ceatal et le long du Bras Sf. Gheorghe, car les cartographes russes concentrent leur attention sur d'autres types de détails. Les rides Letea et Caraorman, couvertes par des forêts, sont mieux définies et la Ride Chilia, absente sur les cartes CED jusqu'en 1867, est bien représentée. Le grand lac Obretin, situé au cœur du delta est placé d'une façon plus réaliste que sur les cartes CED.

12.1.6 La carte CED (Hartley) de 1874

En 1874 la CED publie un nouvel atlas. A partir de ce moment toutes les cartes de la CED sont dessinées à partir des levés réalisés sous la direction de Charles Hartley.



Fig.12.6 La carte CED de 1874

Source : CED, 1874

La carte générale du delta publiée dans cet atlas s'intitule « Carte du Danube et de ses embranchements entre Braila et la mer » (Fig.12.6). Les levés ont été réalisés en 1870 et 1871 par Robert Hansford, arpenteur de la Commission, et Charles Kuhl, ingénieur civil sous la direction de Sir Charles Hartley, ingénieur en chef. La triangulation est présentée dans la partie bas-gauche de la carte.

L'intérieur du delta n'est pas beaucoup mieux cartographié que sur les cartes CED précédentes, la seule grande nouveauté étant la présence de la Ride Chilia avec le village Chilia Veche (Vieux Kilia) situé au nord de la ride sur le Bras Chilia. La Ride Letea est elle aussi mieux dessinée et plusieurs villages sont présents : au nord, sur le Bras Chilia, il y a Periprava (Periprav), et plus au sud les villages de Letea (Leti), Sat Nou (Satanof, aujourd'hui

C.A. Rosetti) et Sfistofca (Sistof). D'autres villages sont présents sur la moitié amont du Bras Chilia : Krasnoi Most (Ceatalchioi), Moskra (Plauru), Pardine (Pardina) et Tatanir. On note la présence de routes sur les rides Chilia, Letea et Caraorman, ainsi que dans la zone du village Sf. Gheorghe (Kédrilles).

12.1.7 La carte du Grand Etat-Majeur Roumain de 1886

Entre 1880 et 1884, l'armée roumaine entre en scène pour la réalisation d'une carte du delta du Danube et, avec l'aide de l'Institut de géographie de l'armée, réalise des levés de terrain sous la direction des Colonels Barozzi et Dona (Nichersu, 2000). Le territoire cartographié par l'armée roumaine concerne la totalité de la Dobrogea, région récemment acquise par la Roumanie en 1878, suite à la Guerre d'Indépendance, soit plus de 16 000 km² couverts.

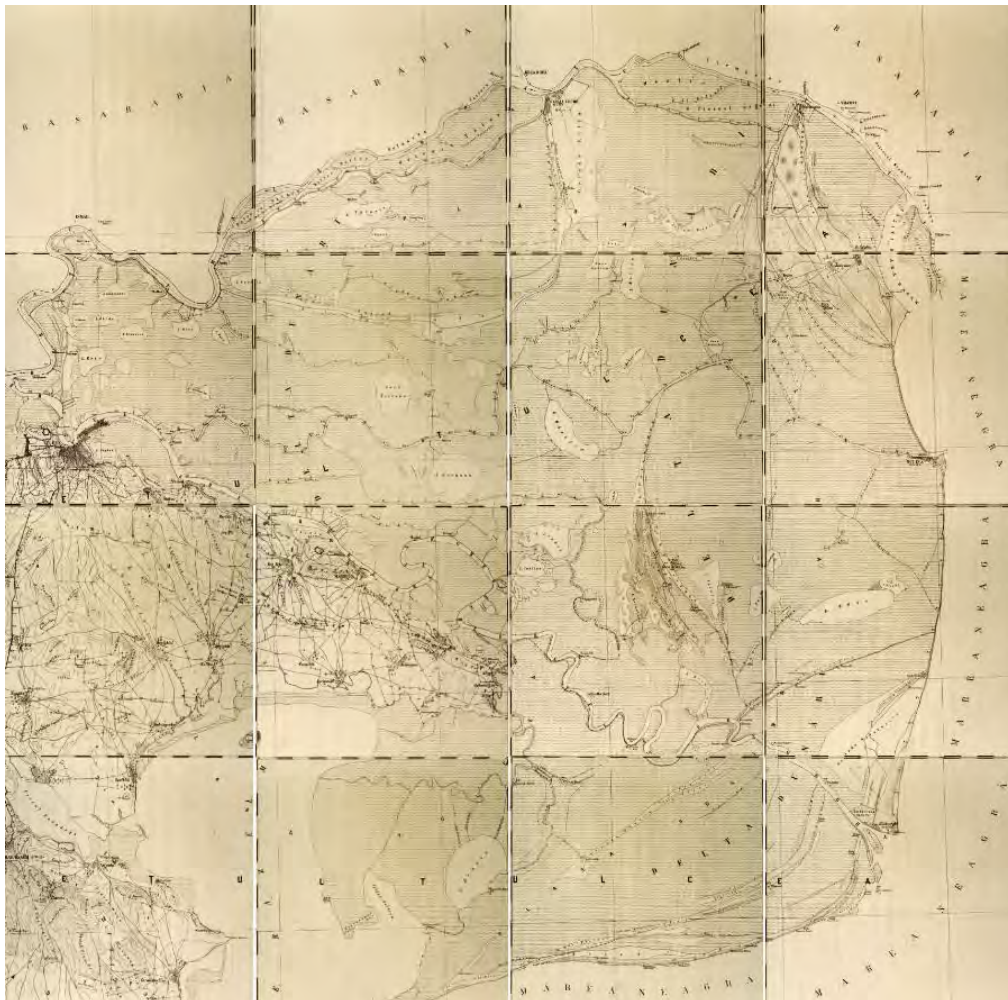


Fig.12.7 Carte de l'Arme roumaine de 1886
Source : Bibliothèque de l'Académie Roumaine

Cette carte (Fig.12.7) a été présentée au public pour la première fois en avril 1891 lors du Congrès Géographique de Vienne. Levée à une échelle 1 : 10 000, elle a été publiée entre 1910 et 1916 à différentes échelles : 1 : 50 000, 1 : 100 000 et 1 : 200 000 (Romanescu, 1996). Le document représente une première approche unitaire du delta du Danube, la totalité

du territoire deltaïque étaient traitée avec la même précision. Certes, nous ne retrouvons pas la bathymétrie de précision des bras et des embouchures réalisée par la CED, mais d'autres zones du delta sont mieux précisées. Les zones de Matita-Merhei, de l'île Ceatal, de Rosu-Puiu ou l'île Dranov sont dessinées avec des détails plus proches de la réalité. La zone de Pardina est bien délimitée et l'on note l'apparition de la Ride Stipoc sur les cartes, mais le détail du réseau des canaux et des lacs n'est pas encore satisfaisant. Les grands lacs Furtuna, Gorgova et Obretin sont placés de façon réaliste sur la carte mais les environs ne présentent pas encore beaucoup de précision.

12.1.8 La carte CED de 1887

Un troisième atlas de cartes et plans du delta du Danube est publié par la CED en 1887. La « Carte du Danube et de ses embranchements entre Braila et la mer » (Fig.12.8) est toujours réalisée sous la direction de Sir Charles Hartley, ingénieur en chef, d'après les levés de 1870-1871 avec des corrections en 1886.

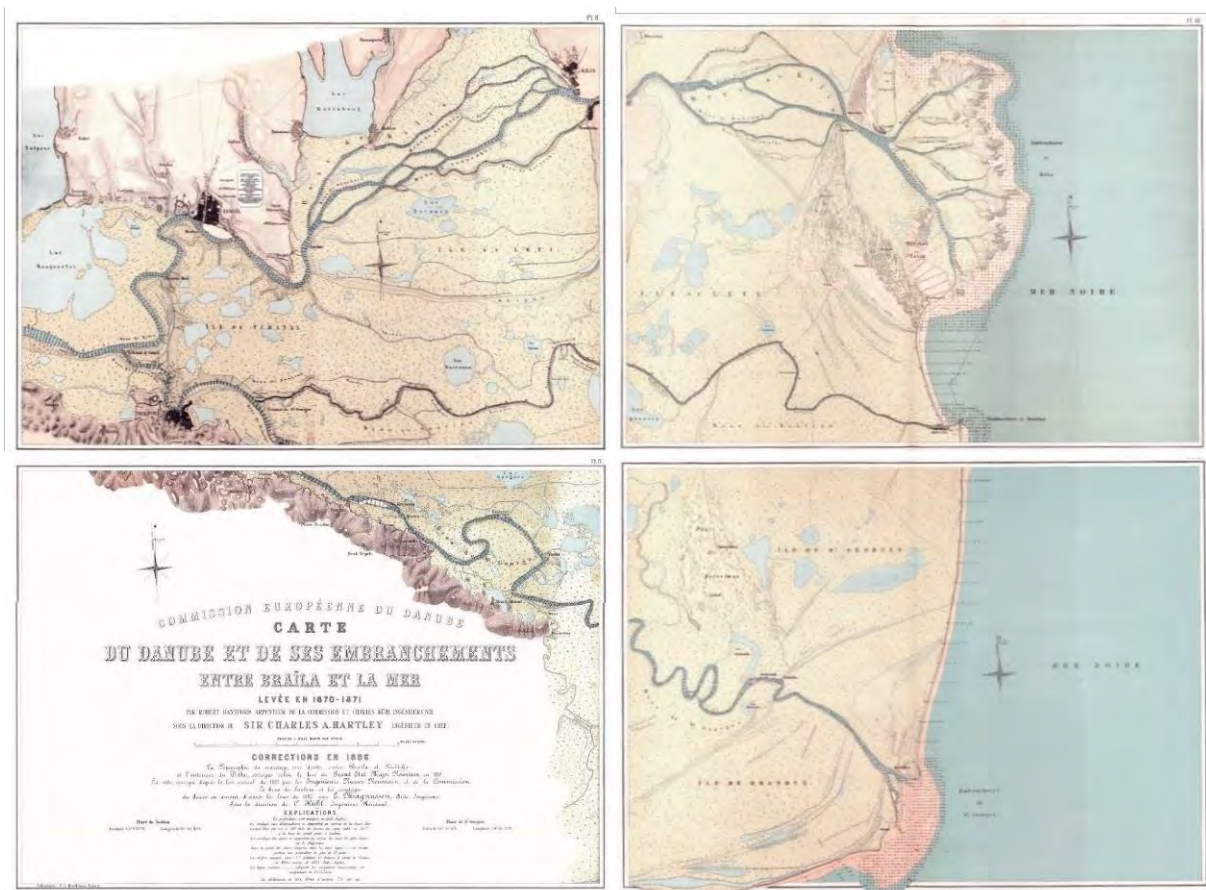


Fig.12.8 La carte CED de 1887

Source : CED, 1887

La carte précise que la topographie du marécage rive droite entre Braila et Tulcea et l'intérieur du delta a été corrigée selon les levés du Grand État-major Roumain de 1880. Le tracé de la côte a aussi été corrigé d'après les levés spéciaux de 1883 effectués par les ingénieurs russes, roumains et ceux de la Commission. Le bras de Sulina et les sondages du

fleuve en amont sont représentés d'après les levés de 1885 effectués par l'ingénieur E. Magnussen sous la direction de C. Kuhl, ingénieur résidant.

A une échelle d'environ 1 : 72 000, la carte est présentée sur quatre feuilles. Avec l'intégration de la cartographie de l'intérieur du delta réalisée par l'armée roumaine, la CED nous propose pour la première fois une carte complète du delta du Danube. A cause de l'accès difficile à l'intérieur du delta, beaucoup de détails ne figurent pas encore sur la carte. On note les travaux de recoupement des méandres réalisés par la CED sur le Bras Sulina.

12.1.9 Les cartes CED après 1902

La période CED d'entre 1887 et 1938, l'année de départ de la CED du delta, est mal documentée. La « Carte du Danube et de ses embranchements entre Braila et la mer » réalisée par la CED a été révisée au moins deux fois, en 1932 et 1937 (Petrescu, 1957), mais aucun atlas ne semble plus être publié. Une seule feuille (Fig.12.9) sur quatre, qui couvre normalement la totalité du delta, dans le même format et échelle que la carte CED de 1887, a été trouvée à la Bibliothèque de l'Académie Roumaine à Bucarest dont on ignore la date de publication. Cette feuille de carte semble faire partie de la « Carte du Danube et de ses embranchements entre Braila et la mer », levé en 1870-1871, avec des corrections en 1922-1925, imprimée sur 6 feuilles par Lithographie F. A. Brockhaus, Leipzig (CED, 1931).



Fig.12.9 Carte CED après 1902
Source : Bibliothèque de l'Académie Roumaine

Les travaux de recouplement des méandres sur le Bras Sulina semblent achevés, donc la carte est postérieure à l'année 1902. Le delta secondaire du Bras Chilia est aussi plus développé que sur la carte CED de 1887. Par contre l'intérieur du delta ne semble pas présenter plus de détails que la carte CED précédente.

12.1.10 La carte Côte de la Roumanie (Al. Catuneanu) de 1900

En 1898, le Ministère de la Guerre charge un groupe d'officiers de la marine militaire, commandés par le capitaine de frégate Al-Catuneanu, de procéder à des levés pour la préparation de la carte maritime des côtes de la Roumanie. La carte a été achevée en 1900 et comprenait le delta du Danube, la côte de la mer Noire et l'île des Serpents.

C'est la première carte de la totalité des côtes roumaines de la mer Noire produite par les officier roumains. La carte de Catuneanu a été présentée au stand de la Roumanie à l'occasion de l'Exposition Internationale de Paris en 1900 où elle a gagné la médaille d'or. En ce qui concerne l'intérieur du delta elle n'offre pas plus de détails que les représentations cartographiques antérieures. L'intérêt de cette carte est de présenter la toponymie roumaine des lieux.



**Fig.12.10 Le delta du Danube sur la carte « La côte de la Roumanie »
Al. Catuneanu, 1899
Source : GeoEcoMar**

12.1.11 Les cartes autrichiennes

Dans le cadre d'une grande campagne de levés topographiques opérés par les militaires de l'Empire austro-hongrois, débutée en 1869 (Timar, 2010), des levés sont réalisés aussi dans le delta du Danube en 1898 (Constantinescu, 2015). Nous avons trouvé des cartes couvrant le territoire deltaïque, publiées en 1910 et 1918, à l'échelle 1 : 200 000.

Sur la première carte publiée en 1910 (Fig.12.11), on voit que les travaux CED de recouplement des méandres ne sont pas encore achevés, la moitié supérieure du Grand M n'étaient pas encore coupée, donc compatible avec les levés de 1898. Par contre sur la carte de 1918 (Fig.12.12) les travaux sont achevés ce qui nous indique que des campagnes de terrain autrichiennes se sont déroulées après 1902. L'achèvement des travaux CED n'est pas la seule différence entre les deux cartes. La carte de 1918 est plus complète, beaucoup plus de lacs et de canaux étant dessinés par rapport à la carte de 1910, celle-ci présentant déjà plus de détails que les cartes du delta publiées jusque-là. Les contours des lacs, les traits des canaux ne ressemblent pas à ceux d'autres documents cartographiques de l'époque, ce qui atteste qu'il s'agit d'un travail original. La toponymie portée sur la carte est en langue roumaine. Ces documents se démarquent par la qualité de leur rendu et par la précision des détails cartographiés.



Fig.12.11 Carte autrichienne 1910

Source : INCDD



Fig.12.12 Carte autrichienne 1918
 Source : Bibliothèque Nationale Autrichienne

12.1.12 Les cartes de la Direction des Pêcheries de l'État, Antipa-Vidrascu, 1911

A partir de 1899 Grigore Antipa, qui dirige les Pêcheries de l'Etat, voit la nécessité d'une carte complète du delta du Danube pour ses projets d'aménagement. Ainsi il met en place une très petite équipe qui est chargée de compléter la carte du Grand Etat-Major Roumain de 1886, à l'échelle 1 : 50 000. Pendant sept ans et avec des outils très basiques cette équipe fait un travail important dans des conditions très rudes pour produire une carte plus complète du delta, mais qui manque encore de précision dans certaines régions (Antipa, 1914). Cette carte a été publiée en 1910 (Antipa, 1910) à l'échelle 1 : 200 000 (Fig12.13).



Fig.12.13 La Carte Antipa-Vidrascu de 1911
Source : Antipa, 1910

Pour ses plans d'aménagement du delta, Antipa, chargé de la direction des Pêcheries de l'État, avait besoin d'une carte beaucoup plus complète et précise. Ainsi, sous la direction de l'ingénieur I. Vidrascu et à partir des levés de terrain réalisés pendant trois ans, entre 1909 et 1911, par une équipe plus étoffée (5 ingénieurs, 3 opérateurs, 1 topographe et 2 dessinateurs) (Antipa, 1914) une nouvelle carte est réalisée (Fig.12.14).

Ce document a été publié à plusieurs échelles, dont le 1 : 50 000, mais elle est connue dans sa version publiée par Antipa dans son ouvrage « Des problèmes scientifiques et économiques du delta du Danube » en 1917 à l'échelle 1 : 150 000 (Antipa, 1917). La carte a été révisée dans les années 1913, 1927 et 1935 (Petrescu, 1957) et a été utilisée pour les projets d'aménagement du delta du Danube jusque dans les années 1945-1950.

C'est la première carte très précise de la totalité du delta, à une échelle de 1 : 50 000. Pour valoriser les grandes surfaces du delta, un nouveau système de triangulation a été créé permettant de mieux couvrir la totalité du delta. La triangulation était composée de 52 triangles basés sur 41 points géodésiques (Vidrascu, 1914).

Une nouveauté proposée par cette carte se situe au niveau des courbes hydrographiques, c'est à dire les courbes qui visent à mettre en évidence le niveau auquel les

eaux du delta sont situées en fonction des différentes hauteurs de l'eau du Danube. Ces courbes hydrographiques rassemblent des lignes d'inondations égales.

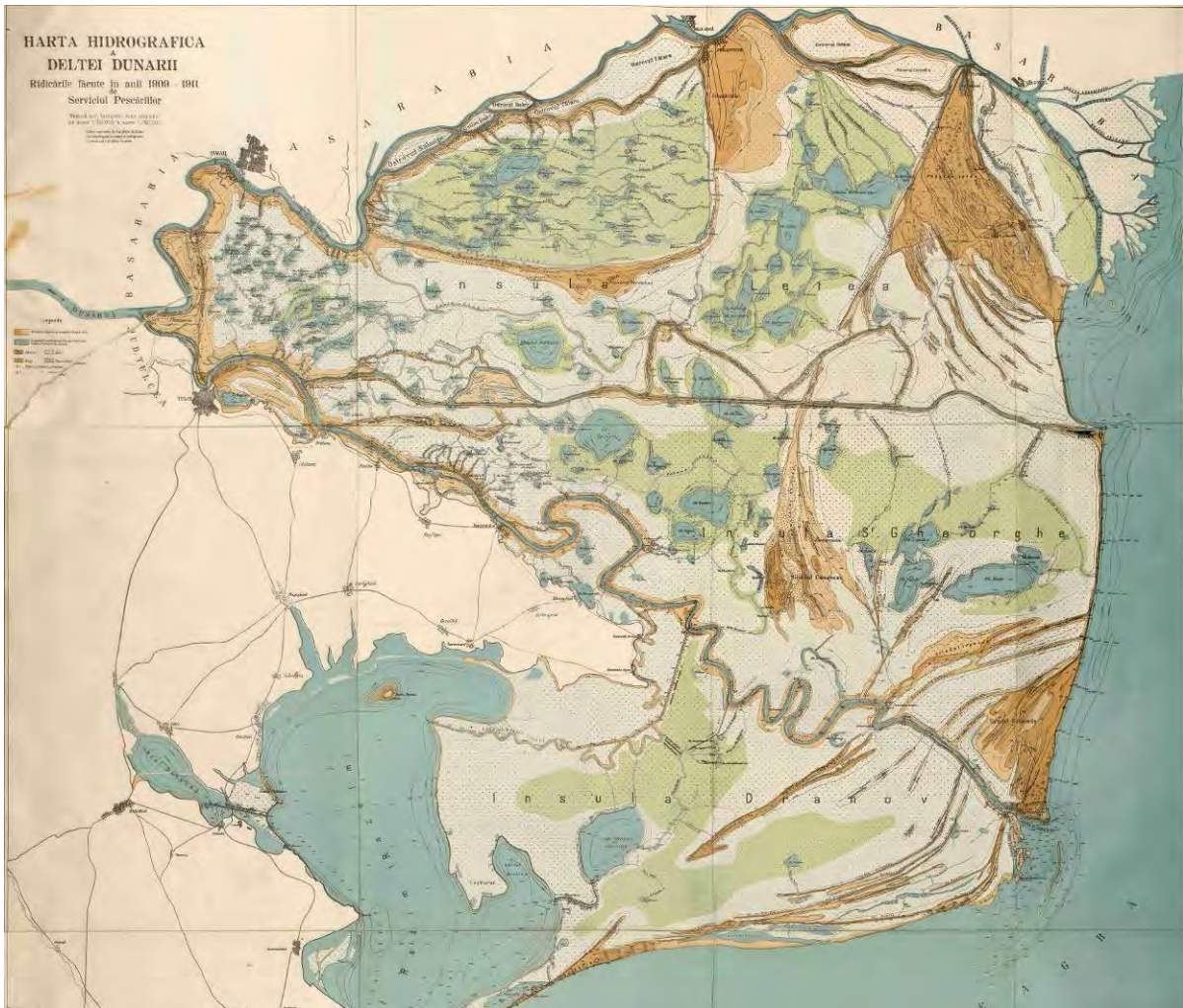


Fig.12.14 La Carte Antipa-Vidrascu de 1917
Source : ICEM

Malheureusement, ce document cartographique n'est pas très complet. Une étude réalisée en 1936 et 1937 dans l'île Letea (Birca, 1948) identifie environ 80 petits lacs et canaux que ne cartographie aucune des cartes existantes.

12.1.13 La carte « Plans directeurs de tir » 1915-1916 (1916-1959)

Une dernière production cartographique de cette période, marquée par l'arrivée avec la CED des ingénieurs occidentaux, sont les « Plans directeurs de tir ».

Durant la Première Guerre mondiale, il est apparu nécessaire aux autorités militaires de disposer d'une cartographie générale du territoire roumain, assortie d'un système de projection unique. Le jeu des mouvements de frontières inhérents à la géopolitique de l'est

des Balkans (empires ottoman et austro-hongrois...) n'avait pas permis de disposer d'une carte aux contours proches de l'actuel.

L'officier français André Louis Cholesky a été le Commandant du Service Géographique de l'Armée Roumaine de septembre 1916 à février 1918, suite à une convention franco-roumaine. Des cartes à l'échelle 1 : 20 000 (Fig.12.15), couvrant l'ensemble du territoire de la Roumanie, sont produites en projection Lambert-Cholesky. Malheureusement les cartes ne sont pas le produit des levés topographiques de terrain, mais proviennent des sources antérieures, transposées dans le nouveau système de projection. Pour le territoire du delta a été utilisée la carte du Grand Etat-Majeur Roumain de 1886. D'autres séries de ces cartes sont réalisées à l'échelle 1 : 100 000 et 1 : 200 000. Ce fond de carte a été exploité jusqu'en 1959. Il a servi de support à de nombreuses versions, corrigées ou thématiques (Craciunescu et al., 2011).



**Fig.12.15 La carte « Plans directeurs de tir »,
Feuille Lacul Fortuna, 1 : 20 000 publié en 1953**
Source : geo-spatial.org

La réalisation, l'impression et la publication de ces cartes s'étalent sur une très longue période de temps et durent jusqu'en 1959, certains détails dessinés sur les documents devenant obsolètes dans un territoire aussi dynamique que le delta du Danube.

12.2 La Commission Européenne du Danube et l'aménagement du Bras Sulina

Favoriser le commerce international par la navigation fluviale est la mission de la CED. La navigation fluviale dans la vallée du Danube a toujours eu une fonction de lien entre Occident et Orient. Relier le Rhin et le Danube permettait de relier la mer Noire et la mer du Nord. Cette porte sur l'Europe de l'Ouest a d'ailleurs fonctionné très tôt puisque la voie danubienne a été un des deux axes européens principaux de diffusion de la « Révolution néolithique » vers l'ouest.

12.2.1 Création de la CED

Suite à la guerre de Crimée entre 1853 et 1856, le traité de Paris (signé le 30 mars 1856) met fin au conflit et institue la Commission Européenne du Danube (CED). Le traité déclare la neutralité de la mer Noire et la libre circulation sur le fleuve. La CED est une organisation intergouvernementale composée de la Grande-Bretagne, de la France, du Royaume de Prusse, de l'Empire d'Autriche, de l'Empire russe, du Royaume de Sardaigne et de l'Empire ottoman. Cette organisation a été fondée pour coopérer et améliorer la navigation sur le Danube, notamment dans sa partie maritime entre Braïla et la mer Noire. Le siège principal de la commission fut établi à Galati (Fig.12.16a), la première grande ville sur le Danube qui correspondait à peu près aux prétentions de la CED. La commission possédait également deux autres sièges, un siège secondaire à Sulina (Fig.12.16b) et un siège tertiaire à Tulcea. Suite aux études et actions engagées, de nombreux plans, études techniques, documents d'archives ont été élaborés et conservés dans ces différents sièges.



a. Siège CED Galati
Photo : T. Groparu, 2015



b. Siège CED Sulina
Photo : C. Groparu, 2017

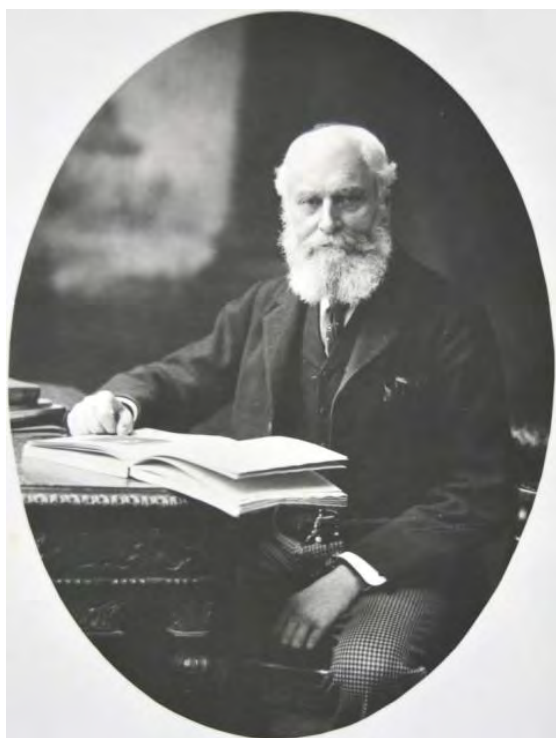
Fig.12.16 Les sièges de la CED

L'ensemble de ces documents ont permis une meilleure connaissance du fonctionnement des trois bras du delta. La CED accorde peu d'intérêt aux autres territoires deltaïques et se concentre essentiellement sur les bras de Chilia, Sulina et Sf Gheorghe. Mis bout à bout, ils permettent de reconstituer la chronologie des aménagements. « *A l'époque de la signature du Traité de Paris, le delta et les embouchures du Danube étaient, au point de vue scientifique, pour ainsi dire inexplorés, et l'on ne possédait alors ni carte exacte, ni relevé*

de nivellement, ni données hydrographiques de cette région. L'arpenteur et le géomètre durent précéder l'ingénieur à l'effet d'ouvrir à celui-ci la voie dans les plaines marécageuses et inhabitées s'étendant entre les nombreux bras qui sillonnent le Delta et dont le sol disparaît en majeure partie sous les eaux au moment des grandes crues » (CED, 1930). Les premières cartes précises connues des bras du delta sont à mettre à l'initiative de la CED et datent de 1856. Les trois bras du Danube ont été cartographiés par le capitaine Spratt entre 1856 et 1857 (Fig.12.1 ; Fig.12.2). Toutes ces études étaient associées à une mise en place logistique progressive pour exécuter les travaux à travers la recherche de matière première (bois, roches, ciment) associée à la mise en place de lignes télégraphiques entre Sulina, Tulcea et Ismaïl.

12.2.2 Les ingénieurs de la CED

Après avoir servi au sein d'une unité spécialisée anglo-turque en tant que capitaine du génie pendant la guerre de Crimée, Charles Hartley devient en 1856, suite au Traité de Paris, ingénieur-en-chef de la Commission Européenne du Danube et supervise l'aménagement du delta pour en faciliter l'accès à la navigation. C'est la raison pour laquelle on lui attribue le surnom de « *Father of the Danube* » (Le Père du Danube).



Sir Charles Hartley



Carl Kuhl

Fig.12.17 Les ingénieurs CED

L'arrivée de Charles Hartley aux embouchures du Danube n'est pas due au hasard, sa présence étant demandée par John Stokes, le premier représentant de la Grande Bretagne au sein de la commission, qui a été son commandant pendant la guerre de Crimée. En reconnaissance de ses services éminents et du succès de son travail sur le Danube, Charles Hartley fut fait « Sir » en 1862.

Son succès sur le Danube le recommande partout dans le monde et il commence à être sollicité sur d'autres chantiers : le Canal de Suez (1861), le Port d'Odessa (1867), le delta du Mississippi (1875), l'élargissement du Canal de Suez (1884). Il a été consulté par le gouvernement britannique et d'autres gouvernements pour de nombreux autres projets d'aménagement fluvial et portuaire.

L'absence de Charles Hartley se fait alors ressentir sur le Danube et la CED trouve une solution pour continuer de bénéficier de son expérience, en parallèle de la présence d'un ingénieur sur place. Entre 1872 et 1907 son statut change d'ingénieur-en-chef en ingénieur consultant et un nouveau poste d'ingénieur-résident est créé. Carl Kuhl est le premier nommé à ce poste entre 1872 et 1907. Ce binôme ingénieur consultant/ingénieur-résident va être gardé par la suite, Carl Kuhl devient entre 1908 et 1919 ingénieur consultant, tandis qu'Eugène Magnussen est nommé ingénieur résident. Suite au décès de l'ingénieur Kuhl à Sulina en 1919 le binôme suivant est formé par les ingénieurs E.T. Ward et Knud Magnussen, jusqu'en 1938, année qui marque la fin de l'existence de la CED aux embouchures du Danube.

12.2.3 Choix du bras et premiers projets d'aménagement

Beaucoup d'éléments, comme : le débit de chaque bras, le débit total, les profils en long et en travers du lit du fleuve, les inondations, les étiages, les courants sur le littoral, la direction des vents, l'englacement du fleuve, ses apports sédimentaires, ont été étudiés sous l'autorité de l'Ingénieur en chef de la Commission, Charles Hartley. Finalement, les efforts de la CED pour favoriser la navigation fluviale se sont concentrés sur le bras de Sulina. Cependant, le choix de ce bras a fait l'objet de nombreuses réflexions. La commission européenne s'est adressée en 1858 (CED, 1858) à plusieurs ingénieurs, qui ont exécuté des relevés et formulé les projets nécessaires pour la régularisation des diverses branches du Danube. Le capitaine de la marine anglaise M. Spratt, M. Hartley ingénieur anglais, M. Nobiling ingénieur prussien et M. Wex ingénieur autrichien, ont été consultés. « *Par accord tacite, le bras de Kilia fut tout d'abord écarté. Sans doute, il a un débit plus considérable que les autres bras et une direction plus favorable dans son cours intérieur, mais ces avantages sont annulés par les mauvaises conditions de ses huit débouchés en mer, qui forment de nombreuses bifurcations terminales, à modifications constantes et ne paraissent pas susceptibles d'un régime suffisamment stable même avec des dépenses considérables. A ces inconvénients s'ajoutait la distance plus grande du Bosphore au Danube, et certaines difficultés pour la navigation, les bateaux, des voiliers pour la plupart, devant longer une côte bordée de bas-fonds, située sous les vents soufflant du large* » (CED, 1931). Il est clair que la mobilité du bras de Chilia a été un argument en sa défaveur, auquel il faut, certainement, ajouter une trop grande proximité avec la Russie. Les débats ont été vifs au sujet du bras de Sulina et de Sf Gheorghe. Dans le rapport de la CED, le bras de Sf Gheorghe est décrit comme ayant des qualités supérieures à celui de Sulina pour la navigation à vapeur (profondeur uniforme, grande largeur et l'absence de bas-fond). Le seul désavantage de Sf Gheorghe par rapport à Sulina était sa grande sinuosité. « *Aussi peut-on dire que si les considérations financières et économiques n'avaient joué un rôle prépondérant dans la question du choix de l'embouchure, le bras de Saint-Georges aurait été certainement*

préféré » (CED, 1931). Le choix se porte sur le bras de Sulina, mais d'abord comme choix provisoire et les travaux débutent dès 1858. « *C'est ainsi que le bras de Soulina fut adopté comme simple mesure provisoire, son seul avantage étant d'avoir un chenal plus profond à l'embouchure, le bras lui-même étant très sinueux, comme celui de Saint-Georges, et, d'autre part, plus étroit* » (CED, 1931). Le bras de Sf Gheorghe devait faire l'objet, dans un second temps, de l'aménagement d'un canal à écluses pour un coût de 17,5 millions de francs. Face à ce coût important et à l'implantation de la ligne de chemin de fer de la compagnie anglaise du chemin de fer entre Cernavoda et Constanta, le choix se porta sur des travaux provisoires le long du bras de Sulina. Quelques années plus tard, le 2 novembre 1865, les travaux provisoires seront transformés en ouvrages permanents.

De cette manière, après de nombreuses études sur les différents bras du delta, le choix du bras à aménager est un choix par défaut où les considérations économiques priment (coût trop élevé pour Sf Gheorghe) face à la concurrence de nouveaux moyens de communications (chemin de fer). Le choix par défaut évolue, un peu plus tard, en choix définitif.

« Les frais des travaux devant être remboursés à la Turquie qui en fait l'avance, ou, pour mieux dire, ces frais devant être amortis au moyen des taxes qu'on percevrait sur les navires, la commission devait, relativement à la préférence à donner à une des branches du Danube plutôt qu'à une autre, se régler de manière à ce que, par suite des travaux à exécuter, il n'en résultât point une trop lourde charge pour le commerce » (CED, 1858).

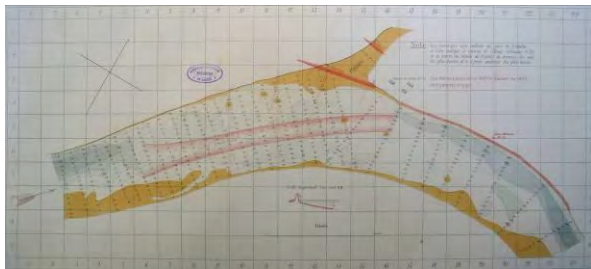
12.2.4 Les travaux réalisés par la CED

« En 1856, dans le bras de Soulina, la profondeur minimum utilisable n'était que de 8 pieds (2 m. 43) à l'étiage, le chenal était obstrué par les carcasses de navires naufragés et les nombreuses sinuosités du fleuve augmentaient les difficultés de la navigation » (CED, 1931). L'ensemble du bras de Sulina a fait également l'objet de travaux d'amélioration de la navigation de la part de la CED. Les premières interventions ont consisté à supprimer à l'aide d'explosifs l'ensemble des épaves qui jalonnaient le cours du bras, ce qui en dit long sur les conditions de navigation avant l'intervention de la CED. Les travaux se concentrent ensuite sur l'établissement d'un chemin de halage stable et pérenne avec la construction de ponts ou passerelles sur les « ghirlas », c'est-à-dire sur les petits canaux d'écoulement reliant les lacs à l'intérieur du delta. Ce chemin est associé à un balisage continu du bras à l'aide de poteaux militaires. On peut diviser les travaux CED sur le Bras Sulina en deux grandes catégories : les travaux dans le fleuve et les travaux à l'embouchure, l'ensemble étant associé à des dragages permanents. Parmi les travaux réalisés dans le fleuve encore deux grandes catégories se distinguent : les travaux sur les bas-fonds et les recoupements de méandres.

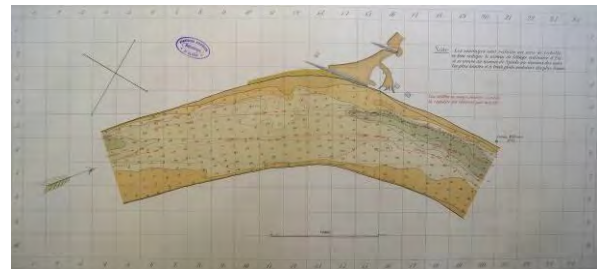
Travaux dans le Fleuve – Les Bas-fonds

Les bas-fonds font l'objet de corrections effectuées au moyen du rétrécissement du chenal. Les bancs de sable se forment dans certaines zones, la tendance naturelle du Bras Sulina étant de se colmater aux endroits où le courant est ralenti (Hartley, 1869). Des digues sont construites, perpendiculaires aux berges et des opérations de dragages sont effectuées dans le chenal navigable, les sédiments étant déposés entre ces éperons en épis.

Un premier travail de rétrécissement du chenal pour la correction d'un bas-fond est réalisé en 1858 dans la région du bras nommée Argagnis, aux environs du mile 42. Les travaux réalisés ici ont été plus complexes que dans d'autres zones de bas-fonds (Fig.12.18). Le Canal Papadia a été fermé avec un barrage, des digues et des éperons sont construits, des dragages sont effectués.



Levé Juillet 1857



Levé Mai 1861



Levé Mai 1862



Levé Juin 1865

Fig.12.18 Travaux CED Argagnis ; Source : CED, 1867

Dans certaines zones, des travaux pour garder la bonne profondeur pour la navigation sont nécessaires à plusieurs reprises (Fig.12.18), comme c'est le cas à Tchatal de Sf. Gheorghe, Argagnis, Petits Argagnis, Tchoban Girla, Monodendri, Kalo-Ayros, Gorgova, Batmiche – Kavac Supérieur et Batmiche – Kavac (Fig.12.19) et parfois avec des travaux et des dragages qui s'étalent sur plusieurs années.



Fig.12.19 Localisation des travaux CED sur les bas-fonds du Bras Sulina

Source fond de carte : CED, 1883

| | Location | Période |
|----|--|---|
| 1 | Bas-fond Tchatal de St. George | 1865, 1867 |
| 2 | Bas-fond au 43-44 milliaire | 1878-1886 |
| 3 | Bas-fond d'Argagnis mille 41-42 | 1858, 1863, 1868-1871, 1872-1878, 1882-1886 |
| 4 | Bas-fond des Petits Argagnis | 1869-1871, 1882-1885 |
| 5 | Bas-fond de Masourale | 1879-1886 |
| 6 | Bas-fond de Veniko | 1873-1882 |
| 7 | Bas-fond de Tchoban Girla | 1872-1873, 1883-1886 |
| 8 | Bas-fond de Monodendri | 1868-1871, 1875-1878, 1883-1886 |
| 9 | Bas-fond de Kalo-Ayros | 1878-1871, 1883-1885 |
| 10 | Bas-fond de Gorgova | 1867-1871, 1880-1885 |
| 11 | Bas-fons d'Austria Tavlassi | 1869-1871 |
| 12 | Bas-fond d'Austria Supérieur | 1876-1886 |
| 13 | Bas-fond d'Austria Inférieur | 1873-1874 |
| 14 | Bas-fond de Batmiche – Kavac Supérieur | 1868-1871, 1886-1887 |
| 15 | Bas-fond de Batmiche – Kavac | 1862, 1884-1885, 1885-1886 |
| 16 | Bas-fond de Tchamourli | 1885-1886 |

Tableau 12.1 Travaux réalisés par la CED pour la correction des bas-fonds

On constate que les bas-fonds du Bras Sulina sont localisés dans la plupart des cas dans la partie fluviale du delta (Fig.12.19). Une bonne partie de ces travaux de correction des bas-fonds devient obsolète, car ils restent en dehors du nouveau chenal navigable, une fois que les travaux de recoupement de méandres commencent.

Travaux dans le Fleuve – Recoupement des méandres

Sur l'ensemble du bras, 10 projets de rectification et de correction ont été réalisés en deux phases. La première est ponctuelle, à la fois dans le temps et l'espace, et s'étend de 1868 à 1869. Elle concernait le recoupement du méandre appelé « le petit M » dans les environs de Mila 23 (Fig.12.20).



Levé Juin 1868

Levé Novembre 1871

Levé Avril 1876

Fig.12.20 Le recoupement du méandre « le petit M » ; Source : CED, 1874, 1887

La seconde phase s'étend de 1880 à 1902 avec la rectification progressive et systématique du bras à travers 9 projets durant chacun entre deux et trois ans (Fig.12.21). Au total, la physionomie change totalement, passant d'un chenal sinueux à un chenal rectiligne (Fig.12.21). Ces travaux raccourcissent la longueur totale du bras de 21,9 km et suppriment

27 méandres ou courbures. Environ 25 000 000 m³ de sédiments sont déplacés pour ces coupures du chenal sur les berges du Bras Sulina. On voit bien là les effets de tels travaux sur l'amélioration du temps de navigation le long du bras. Ces travaux de grande ampleur favorisent la ligne droite pour permettre à la profondeur du bras de se maintenir. « *Après une étude plus approfondie, on jugea préférable pour le maintien de la profondeur d'exécuter de longues coupures en ligne droite.* » (CED, 1931).

| | Localisation | Période | Longueur (m) | Raccourci (m) | Quantité (m ³) |
|------|----------------------|-----------|--------------|---------------|----------------------------|
| I | Le petit M | 1868-1869 | 580 | 1765 | 392 067 |
| II | Tchatal St. Georges | 1880-1882 | 994 | 884 | 815 380 |
| III | Papadia | 1883-1884 | 890 | 658 | 622 813 |
| IV | Arganis Supérieur | 1885-1886 | 1.140 | 1.219 | 939 790 |
| V | Arganis Inférieur | 1886-1887 | 792 | 181 | 650 755 |
| VI | Masourale | 1888-1889 | 1.359 | 238 | 950 733 |
| VII | Le grand M Inférieur | 1890-1893 | 9.708 | 7.826 | 5 926 136 |
| VIII | Gorgova Veniko | 1894-1897 | 6.646 | 2.530 | 5 246 331 |
| IX | Argagnis | 1897-1898 | 1.982 | 396 | 1 622 454 |
| X | Le grand M Supérieur | 1898-1902 | 10.427 | 7.094 | 7 540 279 |

Tableau 12.2 Travaux de recouplement de méandres réalisés par la CED

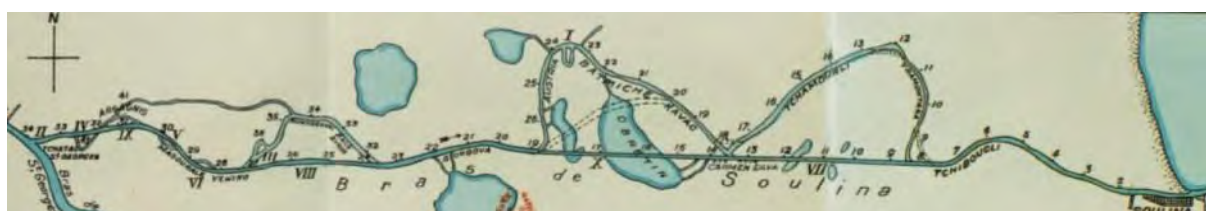


Fig.12.21 Les recouplement de méandres du Bras Sulina

Source : CED, 1931

Face à ce choix, deux faits sont à noter. Le premier concerne le « petit M », recoupé entre 1868 et 1869, élargi entre 1874 et 1875, qui à partir de la coupure du « Grand M, moitié inférieure » devient obsolète. Le choix de recouper le « grand M » est lié à l'augmentation de la longueur des bateaux, qui à la fin du XIXe siècle, rencontraient des difficultés de manœuvre dans les boucles du bras. Le deuxième concerne le lac Obretin qui se trouve coupé en deux à partir du projet « Grand M, moitié supérieure » entre 1898 et 1902. « *Du fait que la coupure traversait le lac Obretin, on dut construire des rives artificielles de chaque côté de la coupure* » (CED, 1931). Toutes ces coupures de méandres étaient associées à l'aménagement de perrés ou d'enrochements pour éviter les érosions du fleuve. Tous ces travaux étaient, également, associés à des dragages permanents du bras. La CED a répertorié les volumes enlevés par dragage de 1887 à 1930 dans le bras. Ils s'élèvent à 2 039 073 m³, part non négligeable. D'autre part, les dragages sont aussi généralisés sur le bras de Tulcea (entre Tulcea et Tchatal), où 1 174 205 m³ sont enlevés du lit mineur entre 1908 et 1930. A la fin des travaux, le balisage ancien devenu obsolète est remplacé par un nouveau jalonnement.

Travaux à l'embouchure du Bras Sulina

Les premiers travaux se concentrent au niveau de l'embouchure du bras de Sulina avec la mer Noire, à travers la construction de digues parallèles. Ces travaux vont être constants sur l'ensemble de la période d'intervention de la CED. L'objectif de ces ouvrages, une fois construits, est d'assurer la meilleure entrée possible aux navires par tous les vents. Ces ouvrages permettent de conserver la direction du chenal et ménagent un abri au port. L'effort se porte ensuite sur l'amélioration des infrastructures portuaires de Sulina.

Les premiers travaux sur l'embouchure consistent à établir un chenal de navigation de 600 pieds de large (183 m). Ces travaux étaient associés à des creusements, dragages à l'intérieur du lit mineur et la « *construction sur les rives du fleuve de quais en bois, avec de larges terre-pleins en arrière, sur une longueur totale de 9 400 pieds (2 864 m)* » soit 1 066 m sur la rive gauche et 1 798 m sur la rive droite (CED, 1931). Ces travaux préliminaires s'étendent de 1858 à 1861 et les digues sont appelées « *digues provisoires* ». Elles sont en bois avec des massifs submergés de pierre. Ces ouvrages sont confrontés aux dégradations liées à l'assaut des vagues de la mer auxquelles il faut ajouter l'accumulation progressive de sédiments transportés par le fleuve. Durant cette période, l'ingénieur en chef Sir Charles Hartley intervient dans de nombreuses conférences au sein de la CED pour exposer les difficultés rencontrées par ces travaux dits provisoires.

Le 3 septembre 1861 les quais ont été inaugurés (Fig.12.22) lorsque la profondeur du chenal d'entrée a été de 17 pieds. Ce résultat inattendu et heureux a mis fin à la question de l'ouverture de la bouche de Sf. Gheorghe.



Fig.12.22 Le bras de Sulina et la mer Noire, dessin de Charles Hartley, 1861
Source : danube-culture.org

De cette manière, un peu plus tard, entre 1866 et 1871, les digues provisoires sont transformées en digues définitives avec l'emploi de blocs de béton de 18 tonnes. Les vides entre les blocs sont ensuite comblés de béton. Ces deux ouvrages sont également prolongés dans la mer. Un peu plus tard, de 1872 à 1894, les travaux sur la digue Sud se prolongent (204 pieds, soit 62,17 m) et ceux sur la digue Nord font l'objet de consolidations. Cette période de 22 ans est une période de stabilité de la profondeur du chenal navigable qui se maintient à une profondeur d'environ 6 m sans nécessiter de dragages. La digue ainsi construite, associée aux vagues et courants marins, provoque des dépôts d'alluvions venant du fleuve vers le Sud de l'embouchure.

Les difficultés sur l'embouchure de Sulina apparaissent entre 1894 et 1930, avec comme conséquence une perte de profondeur du bras. Ces difficultés sont liées aux alluvionnements issus de l'aménagement du bras de Sulina en amont, de l'avancement progressif du delta secondaire de Chilia provoquant des ensablements plus au Sud, de l'augmentation progressive du tirant d'eau des bateaux (demandant toujours plus de profondeur) et des difficultés financières de la CED qui apparaissent à partir des années 1920.



Fig.12.23 Evolution du tonnage des bateaux avant/après 1900 à Sulina

Source : delcampe.net

Malgré ces difficultés, la réponse de la CED entre 1894 et 1930 se traduit par un allongement progressif des digues en fonction des alluvionnements tout en rétrécissant la largeur de ces digues parallèles, et par un dragage systématique des fonds (Fig.12.24).

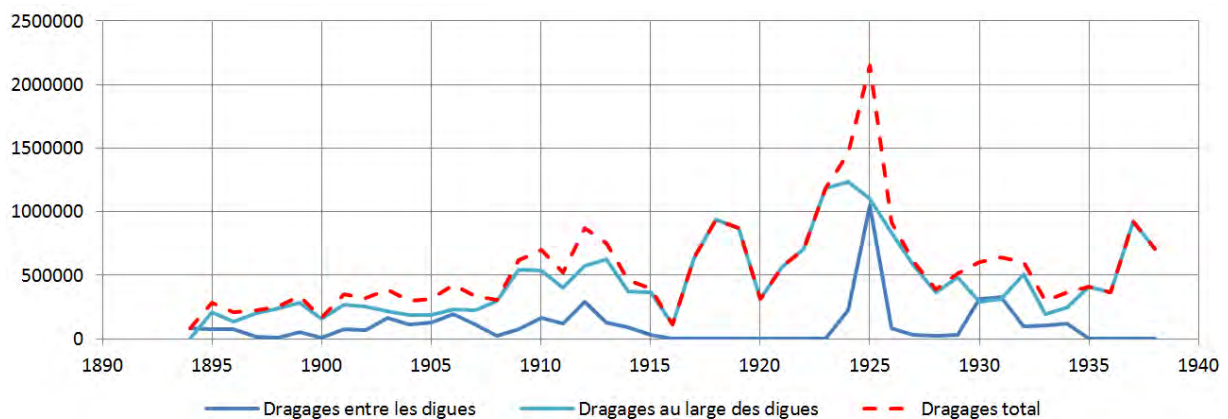


Fig.12.24 Dragages (en tonnes) effectués par la CED à l'embouchure Sulina entre 1894 et 1938 (Source des données : CED)

| Année | Dragages entre les digues (m ³) | Dragages au large des digues (m ³) | Total (m ³) |
|-------|---|--|-------------------------|
| 1894 | 84 140 | 0 | 84 140 |
| 1895 | 75 394 | 206 041 | 281 435 |
| 1896 | 78 100 | 132 550 | 210 650 |
| 1897 | 17 050 | 204 600 | 221 650 |
| 1898 | 11 000 | 240 350 | 251 350 |
| 1899 | 51 700 | 280 500 | 332 200 |
| 1900 | 11 000 | 156 750 | 167 750 |
| 1901 | 77 550 | 268 950 | 346 500 |
| 1902 | 68 750 | 255 200 | 323 950 |
| 1903 | 164 800 | 219 450 | 384 250 |
| 1904 | 109 450 | 187 550 | 297 000 |
| 1905 | 127 050 | 184 250 | 311 300 |
| 1906 | 196 300 | 231 550 | 427 850 |
| 1907 | 111 050 | 225 500 | 336 550 |
| 1908 | 24 442 | 297 311 | 303 953 |
| 1909 | 74 149 | 545 751 | 619 900 |
| 1910 | 167 587 | 534 403 | 701 990 |
| 1911 | 117 205 | 401 215 | 518 420 |
| 1912 | 291 767 | 576 243 | 868 010 |
| 1913 | 128 947 | 625 487 | 754 434 |
| 1914 | 92 653 | 370 959 | 463 612 |
| 1915 | 29 275 | 367 939 | 397 214 |
| 1916 | 0 | 115 010 | 115 010 |
| 1917 | 0 | 640 215 | 640 215 |
| 1918 | 0 | 941 510 | 941 510 |
| 1919 | 0 | 867 713 | 867 713 |
| 1920 | 0 | 315 480 | 315 480 |
| 1921 | 0 | 563 518 | 563 518 |
| 1922 | 0 | 710 263 | 710 263 |
| 1923 | 0 | 1 183 459 | 1 183 459 |
| 1924 | 222 400 | 1 236 419 | 1 458 819 |
| 1925 | 1 050 980 | 1 101 133 | 2 152 113 |
| 1926 | 79 450 | 833 600 | 913 050 |
| 1927 | 31 488 | 577 293 | 608 781 |
| 1928 | 22 824 | 365 549 | 387 374 |
| 1929 | 30 550 | 481 055 | 511 605 |
| 1930 | 314 587 | 288 074 | 602 661 |
| 1931 | 324 537 | 316 015 | 640 552 |
| 1932 | 99 123 | 506 427 | 605 550 |
| 1933 | 101 802 | 193 202 | 295 004 |
| 1934 | 120 873 | 243 774 | 364 617 |
| 1935 | 0 | 407 000 | 407 000 |
| 1936 | 0 | 367 000 | 367 000 |
| 1937 | 0 | 920 400 | 920 400 |
| 1938 | 0 | 708 200 | 708 200 |

Tableau 12.3 Dragages effectués par la CED à l’embouchure Sulina entre 1894 et 1938

Toutes les matières draguées dans le chenal navigable ont été déchargées en mer à une distance de 2 milles marins au sud du débouché du Bras Sulina, sur la ligne de fonds de 21 pieds. On a constaté que ces matières ont été emportées par le courant littoral (Ward, 1925). Au début du XXe siècle, deux dragues marines travaillent en permanence sur l'embouchure de Sulina et ces travaux ne font que s'accroître jusqu'en 1930. Entre 1921 et 1930, les digues sont à nouveau allongées de 1981 m avec l'utilisation de fascines (entrelacement de branches de saules) (Fig.12.25).



Fig.12.25 Travaux CED à l'embouchure du Bras Sulina
Source : CED, 1931

Le début du XXe siècle est une période difficile pour l'aménagement de l'embouchure de Sulina puisque aux problèmes d'alluvionnement s'ajoute celui de la Première Guerre mondiale et du financement de la CED. Le passage d'un bras sinueux à un bras rectiligne, certes favorable à la navigation, engendre aussi quelques désagréments. La CED montre dans son rapport qu'avant les travaux, en 1856, 7% du débit total du Danube passait par le bras de Sulina. En 1905, à la fin des rectifications, sa part passe à 9%, puis 14% en 1928 (CED, 1931). « *Le fait que le débit du bras de Soulina a été fortement augmenté, tout en facilitant le maintien de la profondeur, a eu, sans aucun doute, une influence prononcée sur l'engorgement de l'embouchure, par suite de la plus grande quantité d'alluvions transportées par ce bras* » (CED, 1931). La rectification a comme conséquence d'augmenter le volume d'eau et la vitesse des courants, ce qui se traduit à l'embouchure de Sulina par une augmentation de l'alluvionnement. De cette manière, les travaux permanents à l'embouchure sont une conséquence des travaux situés sur le bras en amont. D'autre part, sur le bras Sf Gheorghe, à l'inverse, la part de l'eau du Danube écoulee diminue. Elle passe de 30% en 1856 à 24 % en 1905, puis 21% en 1928 alors que la part sur le bras de Chilia se maintient. La conséquence sur le bras Sud du Danube est alors un ensablement généralisé.

Entre la seconde moitié du XIXe siècle et la première moitié du XXe siècle, la CED par son action bouleverse la physionomie des paysages du delta du Danube. Son action se concentre autour du bras de Sulina à travers des enrochements, rectifications, dragages mais aussi en réglementant la navigation dans le delta. Au début du XXe siècle, le bras de Sulina est un bras artificialisé qui recoupe plusieurs méandres et le lac d'Obretin. Ces travaux ont

aussi pour conséquence de favoriser l'ensablement du bras St George. Cette période d'aménagements sur le bras de Sulina se traduit aussi par une structuration et un développement des villages, le port de Sulina ne cessant par ailleurs de se développer sur cette période. Ailleurs, des villages s'implantent le long de la voie commerciale.

Tous ces travaux colossaux sur le bras de Sulina sont le reflet du rapport hommes/cours d'eau en Europe. Partout, sur les fleuves européens, des travaux d'artificialisation et de rectification se généralisent. A la même époque, les ingénieurs en chef œuvrent sur le Rhône, la Loire, La Garonne, la Gironde, le Po, l'Oder, le Rhin et bien d'autres. « *Détruire la cause des atterrissements, c'est-à-dire empêcher le charriage constant des alluvions, telle semblerait être la véritable solution de la difficulté* » (Engelhardt, 1870). Il faut donc combattre l'alluvion en construisant des digues et en généralisant le dragage. Toutes ces actions sont à mettre en relation avec les connaissances scientifiques en hydraulique qui ne cessent de progresser au XIXe siècle. Les ingénieurs hydrauliques règnent en maître sur les cours d'eau européens et les aménagements projetés s'appuient sur des études scientifiques rigoureuses. Partout, le but de la rectification est de favoriser le commerce, ici, commerce international sur le Danube. Cette vision aménagiste considère que l'action de l'homme est capable de dominer le fleuve pour favoriser le commerce. Cette idéologie est révélatrice des réflexions sur les fleuves durant cette période. L'analyse de l'action de la CED montre effectivement une métamorphose des paysages du bras de Sulina, une augmentation de la navigation, mais montre également quelques tâtonnements. Le cas de l'embouchure et de l'allongement répété des digues sur la période démontre que l'aménagement pour réussir doit être permanent ; tout en essayant de gommer les effets indésirables. Ne doit-on pas voir dans l'ensablement du bras Sf Gheorghe, les effets d'un aménagement mal maîtrisé ? Ce bras devait d'ailleurs faire l'objet de l'aménagement d'un canal à écluse une fois les travaux provisoires de Sulina terminés. Finalement, les travaux provisoires sur le bras de Sulina sont devenus permanents (Groparu et al., 2019).

12.3 Grigore Antipa et les aménagements à l'intérieur du delta

Au moment de la formation de l'Etat Roumain, en 1878, l'exploitation des ressources du delta du Danube est le fait d'initiatives privées encadrées par l'Etat. De nombreuses concessions de droits de pêche, d'une durée de 5 ans, sont octroyées à des entrepreneurs. Dans le but de retirer un bénéfice immédiat, ces derniers pratiquent une pêche qui conduit à la surexploitation de la ressource (Mitroi-Tisseyre, 2013). Les pêcheurs mettent en place des clôtures sur les canaux (Fig.12.26a) pour empêcher les poissons de s'échapper, mais ces multiples aménagements impactent la circulation naturelle des eaux et contribuent progressivement au colmatage des canaux, comme cela a été relevé pour le canal de Dunavat, avec pour incidence la chute de la quantité de poissons pêchés dans le Lac Razelm (Giurescu, 1964).

Durant cette période, la pêche est alors organisée entre l'Etat — qui octroie des droits de pêche et collecte des taxes, les *cherhanales* (à la fois constructions et petites entreprises

situées à proximité immédiate de l'eau et destinées à recevoir, trier, préparer et stocker temporairement les poissons, qui assurent la collecte du poisson et sa commercialisation), et les pêcheurs, propriétaires de leurs embarcations et outils de pêche (Antipa, 1895).



a. Clôture sur un canal

Source : Gabriel Voiculescu



b. Clôture à Portita, Lac Razim

Source : Antipa, 1916

Fig.12.26 Les clôtures utilisées pour la pêche

Avec l'intégration du delta du Danube au sein du territoire Roumain, commencent les conflits relatifs au devenir de cette vaste zone humide. Certains partisans prônent un aménagement radical du delta à travers sa transformation en zones agricoles. D'autres militent pour la poursuite des activités traditionnelles et le maintien de certains privilèges. C'est dans ce contexte que Grigore Antipa va développer une vision d'ensemble relative à l'exploitation des ressources du delta du Danube, non pas en tant qu'activité de prédation dans un milieu naturel, mais en terme de système de production organisé et planifié. Son principe est l'amélioration de la productivité piscicole en milieu naturel, tel qu'il le décrit dans son ouvrage de 1914 (Antipa, 1914). Le projet d'Antipa est fondé sur les nombreux travaux scientifiques qu'il a réalisés dans l'ensemble du bas Danube pour comprendre son fonctionnement (Antipa, 1910, 1921). Quand il écrit en 1922 que « *la production de poisson est un moyen indiqué par les conditions naturelles pour servir un but important, celui de valoriser le mieux possible une portion importante de la surface du pays* », il dévoile sa volonté de mettre en œuvre un modèle global de la production piscicole, fondé à la fois sur des aménagements et l'organisation étatique de cette activité. Son idée maitresse est d'utiliser les vastes étendues formées de lacs et de lagunes comme lieux de production, tel qu'il l'écrit en 1927 « *chaque partie de la région inondable doit être remise en valeur par le type de production pour laquelle la nature même l'a créée, donnant ainsi le maximum de rentabilité : le système de mise en valeur doit également avoir en vue que les travaux faits dans ce but ne changent pas l'équilibre de la nature et n'engendrent pas de conséquence désastreuses* ».

Il développe ainsi une partition du delta du Danube en grandes entités fonctionnelles. Les grands lacs permanents sont dévolus à une production biologique accrue et l'obtention de grandes quantités de poissons. Les zones peu profondes, inondées en périodes de hautes eaux, peuvent être transformées et aménagées pour la pisciculture. Les parties inondées durant de courtes périodes peuvent être utilisées comme pâturages, tandis que les parties du delta les plus élevées en altitude, rarement inondées, peuvent être protégées par des digues et utilisées pour l'agriculture (Brezeanu & Cioboiu 2010).

Rédacteur en 1896 de la loi qui régit la question des droits de pêche, Antipa outrepassa sa fonction scientifique et entra pleinement dans la carrière politique. Il va ainsi occuper, à son retour en Roumanie, les fonctions de directeur des pêches de l'Etat et d'inspecteur général auprès du Ministre de l'Agriculture et des Domaines. Cette position va lui permettre de mettre en œuvre une partie de son projet, avec la réalisation des premiers travaux d'envergure conduits sur le lobe de Dunavatz où deux canaux sont creusés. Le canal « Regele Carol » est réalisé entre 1905 et 1907 (Fig.12.27b). Le second ouvrage est le canal « Principele Ferdinand » creusé entre 1912 et 1914 entre le bras Sf. Gheorghe et le lac Dranov.



a. Grigore Antipa et le Roi Carol I au bord du Lac Razim
Source : Antipa, 1916



b. L'inauguration du Canal « Roi Carol » (Dunavatz) 1906
Source : okazii.ro

Fig.12.27 Grigore Antipa et l'aménagement du Lac Razim

Ces aménagements ont pour conséquence de modifier les apports en eau douce dans les lagunes littorales saumâtres. Parallèlement, des travaux de dragage sont réalisés à l'embouchure de Portita avec la construction d'une digue destinée à juguler la formation du cordon littoral et l'édification de passes pour favoriser l'accès des poissons en provenance de la mer Noire (Antipa, 1894). Les résultats de ces travaux sont jugés extrêmement impressionnants. Pour le seul lac Razelm, la production de poisson passe de 34 000 kg en 1895 pour atteindre 1 735 000 kg en 1907. Ce plan, en cours de réalisation, est stoppé net par le début de la Première Guerre mondiale, l'entrée de la Roumanie dans le conflit auprès des alliés et l'arrivée au pouvoir du roi Ferdinand I^{er}.

Durant cette période, Antipa occupe la fonction de directeur du musée d'Histoire Naturelle de Bucarest ; les résultats de sa politique en matière d'aquaculture sont soulignés, comme le narre Lucian Boia (Boia, 2009), par Auguste-Guillaume de Hohenzollern en visite au musée en décembre 1916. À la fin de la Première Guerre mondiale, à l'instar d'Emmanuel de Martonne, Grigore Antipa intervient en 1918 en qualité de délégué technique, spécialiste du Danube, dans la rédaction des modalités du traité de paix. À compter de cette date il occupe pour une période de dix ans, avec des fonctions étendues, la direction générale économique, placée sous la tutelle du premier ministre. Durant cette période Antipa ne perd pas de vue son projet pour le Danube. En 1932, dans un article paru dans le *Bulletin de la Section Scientifique de l'Académie roumaine* intitulé « Les principes de l'amélioration de la productivité du bas Danube », Antipa rappelle que "Le Delta du Danube, à cause de sa

constitution, doit donc rester sous l'eau, et toutes les améliorations entreprises doivent être dirigées vers ce but. Il faut renoncer complètement à l'agriculture et nous occuper de la pisciculture ; et il est certain que – par l'application d'un programme de travaux hydrauliques et une action conséquente pour l'extermination des plantes aquatiques – les lacs du delta pourront être transformés dans des étangs systématiques, propres à une pisciculture naturelle en grand ». Dans le même article, Antipa affirmait : « Dans quelques années, le delta sera entièrement aménagé par des travaux spéciaux en vue d'une grande production de poisson » (Antipa, 1932). Ces propos et les faits s'éloignent de l'image ripolinée faisant d'Antipa un chantre de la gestion raisonnée des ressources et de son système de production un modèle d'intégration écologique (Groparu et al., 2019).

En effet, la seconde phase des travaux de Grigore Antipa concerne l'aménagement des canaux Litcov, Sireasa et Pardina (Fig.12.28). L'impact de ces aménagements est non négligeable sur l'hydrologie du delta du Danube. Néanmoins, cette seconde offensive sera stoppée par la Deuxième Guerre mondiale et l'entrée de la Roumanie dans le conflit.



Fig.12.28 Carte « Delta du Danube Amélioration Hydrobiologique »
Source : Archives Nationales Galati

Pendant cette période une première tentative de poldérisation avait été mise en œuvre à proximité de Mahmudia, dans l’Ile Sf. Gheorghe, autour de l’année 1895. Le lieu, dont la toponymie a conservé la mémoire de « gradina olandeza » (le jardin néerlandais), concerne une centaine d’hectares. Cette première tentative, jugée non rentable, ne semble pas avoir donné lieu à de nouveaux essais dans la période d’Antipa.

Conclusion du chapitre 12

L’ensemble du bras de Sulina a fait l’objet de travaux d’amélioration de la navigation de la part de la CED entre 1857 et 1902. Les premières interventions ont consisté à supprimer à l’aide d’explosifs l’ensemble des épaves qui jalonnaient le cours du bras, ce qui en dit long sur les conditions de navigation avant l’intervention (CED, 1931). Sur l’ensemble du bras, 10 projets de rectification et de correction ont été réalisés (Fig.12.29). Le bras sinueux devient un bras rectiligne, permettant le maintien de sa profondeur. Ces travaux raccourcissent le bras de 21,9 km et suppriment 27 coudes. Toutes ces coupures de méandres étaient associées à l’aménagement de perrés ou d’enrochements pour éviter les érosions du fleuve. Ces travaux étaient associés à des dragages permanents du bras.

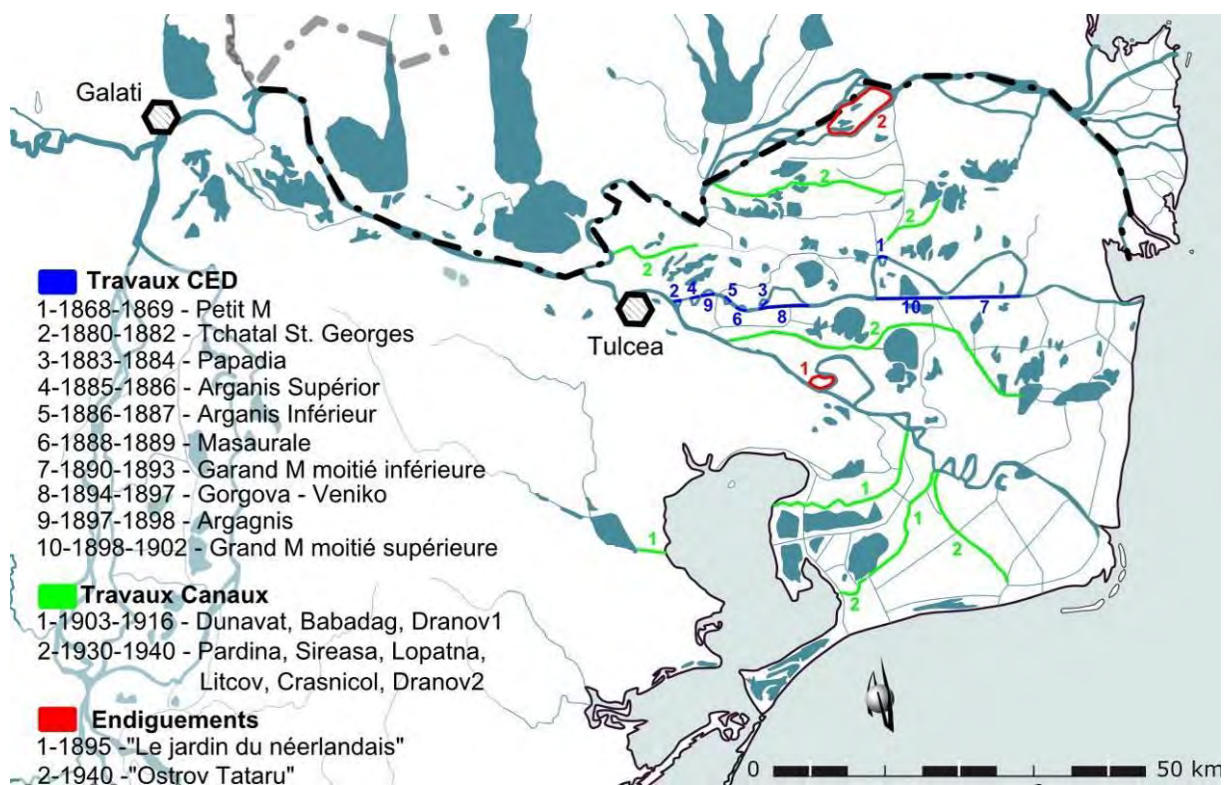


Fig.12.29 Aménagements delta du Danube 1856-1940

Le passage d’un bras sinueux à un bras rectiligne est favorable à la navigation, mais engendre quelques désagréments. La CED montre dans son rapport qu’avant les travaux, en 1856, 7 % du débit total du Danube passe par le bras de Sulina. En 1905, à la fin des rectifications, sa part passe à 9 %, puis 14 % en 1928 (CED, 1931). De cette manière, les

travaux permanents à l'embouchure sont une conséquence des aménagements effectués sur la partie amont du bras. Sur le bras Sf. Gheorghe, à l'inverse, la part de l'eau qui s'y écoule diminue. Elle passe de 30 % en 1856 à 24 % en 1905, puis à 21 % en 1928, alors que la part sur le bras de Chilia se maintient. La conséquence sur le bras Sud du Danube est alors un ensablement généralisé.

Après l'intervention de la CED, deux modèles différents ont été envisagés pour l'aménagement de la plaine d'inondation du Danube : un modèle d'ingénierie proposé pour drainer la plaine d'inondation pour l'agriculture (Ionescu-Sisești, 1933), et une solution plus « naturelle » suggérant le développement de la pisciculture et de l'élevage tout en préservant le système des lacs et des marais (Antipa, 1914). Finalement, pour commencer l'aménagement à l'intérieur du delta, le modèle d'Antipa a été choisi.

A partir de la première moitié du XXème siècle Grigore Antipa met en place les bases d'un modèle global d'aménagements qui change les équilibres des écosystèmes déjà fortement impactés par les travaux de rectifications du cours du bras de Sulina. L'intensification de la pêche, avec l'introduction de nouvelles espèces et la transformation de lacs naturels en systèmes d'élevages fermés, contribue à modifier de manière radicale la physionomie du delta du Danube. Le creusement de grands canaux (Fig.12.29), le cloisonnement de portions de lagunes ou la fermeture de portions des cordons littoraux participent de ce processus d'artificialisation du milieu auquel vont se surimposer les structures mises en place durant la période communiste.

Chapitre 13

L'aménagement intensif - les plaines alluviales à partir des sources iconographiques après la Deuxième Guerre mondiale (1944-2010)

Après la Deuxième Guerre mondiale et l'entrée de la Roumanie dans la sphère d'influence de l'Union Soviétique, l'état devient le propriétaire de la plupart des terres et commence à les aménager selon le modèle soviétique. En 1921, en donnant l'exemple, Lénine décide de créer la première station de recherche sur le roseau à Spovednik, dans le delta de la Volga (Motoc, 2016).

En décembre 1955 a lieu le VIIème congrès du Parti Communiste Roumain qui acte le début de l'exploitation du roseau dans le delta du Danube, pour augmenter la production de cellulose. A partir de ce moment, la valorisation des ressources du delta devient une priorité. Pour définir les grandes lignes à suivre dans la valorisation des ressources, une première conférence a lieu entre le 29 mai et le premier juin 1956 au cœur du delta, à Maliuc. La conférence a été présidée par Traian Savulescu, le président de l'Académie Roumaine, avec la participation de plus de 180 scientifiques. Les sujets abordés sont la géographie physique et humaine du delta, la climatologie, l'hydrologie, la flore et la faune, l'hydrobiologie et l'ichtyologie, la pédologie, l'agriculture, la zootechnie, la sylviculture, la pisciculture, le roseau, la navigation, l'urbanisation et les voies de communication, la cynégétique et enfin les principes d'aménagement du delta du Danube.



Fig.6 Conférence de Maliuc de 1958

Source : Motoc, 2016

La première conférence de Maliuc a eu lieu dans des salles improvisées avec des murs en roseau, et les participants ont été logés dans des dortoirs flottants. En 1958 a lieu une deuxième conférence à Maliuc (17-19 mars) pour faire le point sur les avancées dans l'aménagement du delta et plus précisément sur les progrès réalisés dans l'exploitation mécanisée du roseau. Suite à cette conférence, la région de Maliuc a été transformée en une base de recherche sur le roseau (Motoc, 2016).

13.1 Les productions cartographiques

La Deuxième Guerre mondiale a suscité un intérêt pour la cartographie sans précédent depuis l'époque de Colomb et de Magellan (Raisz, 1948). Les soldats ont été formés par millions à la lecture des cartes, à la réalisation de cartes et à l'utilisation de photographies aériennes. En réponse à cette demande accrue, une nouvelle école de cartographie s'est développée avec de grands résultats sous la forme de cartes topographiques très détaillées. Des cartes topographiques couvrant le delta du Danube sont produites par différents auteurs à des échelles plus grandes. Aux cartes topographiques s'ajoutent les cartes touristiques à des échelles plus petites, mais qui sont de plus en plus nombreuses dans la période plus récente.

13.1.1 La carte militaire américaine de 1943

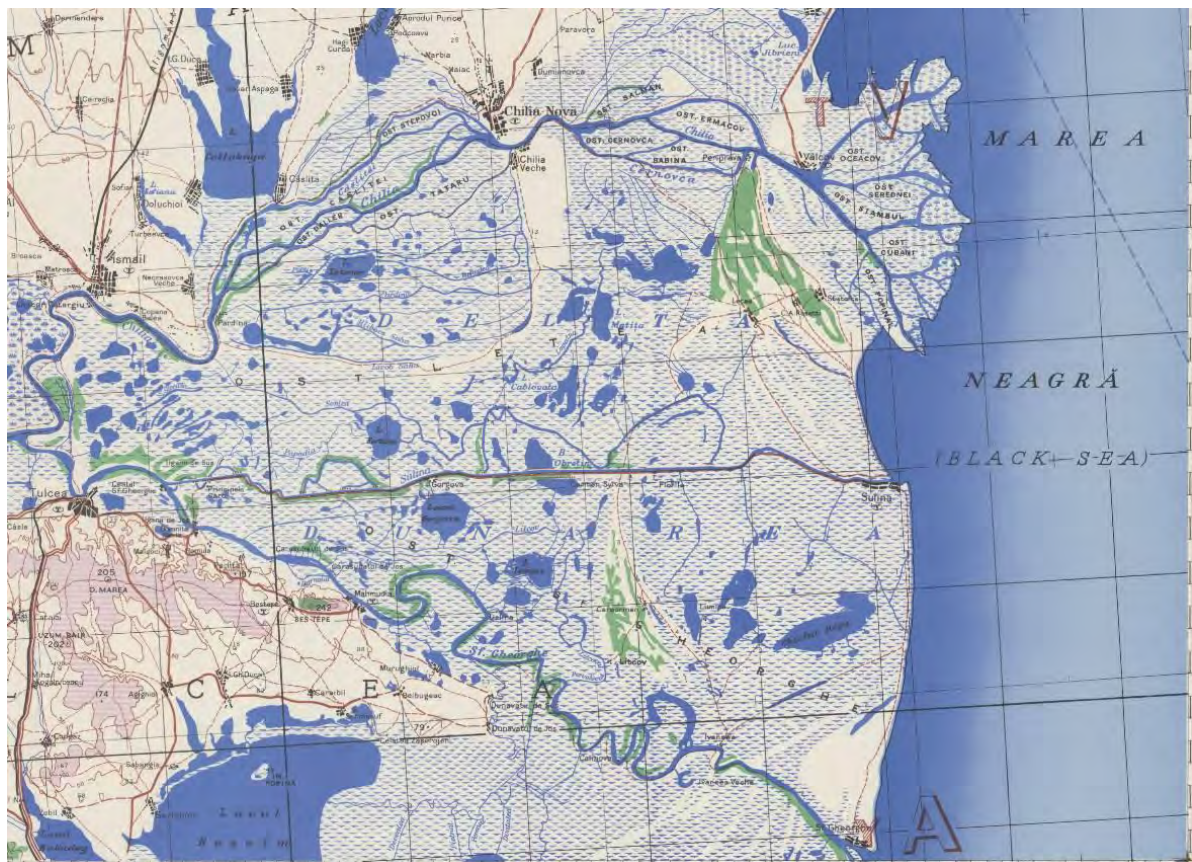


Fig.13.1 Le delta du Danube sur une carte de l'Armée des Etats Unis, 1943, échelle 1 : 250 000

Source : McMaster University

Pendant la Deuxième Guerre mondiale en 1943 et après, en 1954, dans le contexte de la guerre froide, les services cartographiques militaires américains ont dressé des cartes du territoire de la Roumanie à l'échelle 1 : 250 000.

Le document de 1943 (Fig.13.1) est une compilation de cartes roumaines de plusieurs années : les plans directeurs de tir au 1 : 100 000 publiés entre 1937 et 1940, la carte nationale de l'aviation au 1 : 500 000 publiée par l'institut géographique militaire en 1937, la carte administrative de la Roumanie au 1 : 500 000 de 1939, la carte générale de la Roumanie au 1 : 400 000 publié en 1935 par le major M. Aurel, la carte de l'état des routes au 1 : 1 000 000 et la carte des chemins de fer roumains de 1929. Toutes ces informations ont été corrigées suite à des rapports de renseignement effectués jusqu'en octobre 1942.

13.1.2 La carte militaire américaine de 1954

La carte américaine publiée en 1954 (Fig.13.2) est plus complète que celle de 1943, beaucoup plus de détails comme des lacs et des canaux étant dessinés sur ce document.



Fig.13.2 Le delta du Danube sur une carte de l'Armée des Etats Unis, 1954, échelle 1 : 250 000

Source : Texas University

Cette deuxième carte de l'armée américaine a été élaborée sur la base des cartes roumaines de 1941, des cartes allemandes de 1944, ainsi que à l'appui de photographies aériennes acquises en 1947.

13.1.3 Les cartes topographiques de l'armée roumaine de 1960-1962

Après la fin de la Deuxième Guerre mondiale l'Institut Géographique Militaire au sein de l'armée roumaine, qui s'était occupé pendant la guerre de la reproduction pour l'armée des cartes aux échelles 1 : 20 000, 1 : 100 000 et 1 : 200 000, change de nom (Iftimoaie, 2003). Au 15 janvier 1951, l'Institut Géographique Militaire (IGM) est remplacé par la Direction Topographique Militaire (DTM), entité qui fonctionne encore de nos jours, et commence à produire de nouvelles cartes suite à des campagnes de terrain. Ces cartes, dont la précision est inégalée, ont été classifiées « secret défense » et n'ont pas été diffusées auprès du public. A partir de 1951 la projection cylindrique de Gauss-Kruger a été utilisée par la DTM avec l'adoption de l'ellipsoïde de référence de Krasowski 1940. Cette projection a été utilisée pour l'établissement de cartes et de plans topographiques de base, à différentes échelles, jusqu'en 1973. Des levés de terrain sont réalisés par l'armée roumaine entre 1951 et 1958 (Nastase & Osaci-Costache, 2005) pour l'ensemble du territoire de la Roumanie, les cartes étant imprimées à partir de 1958.

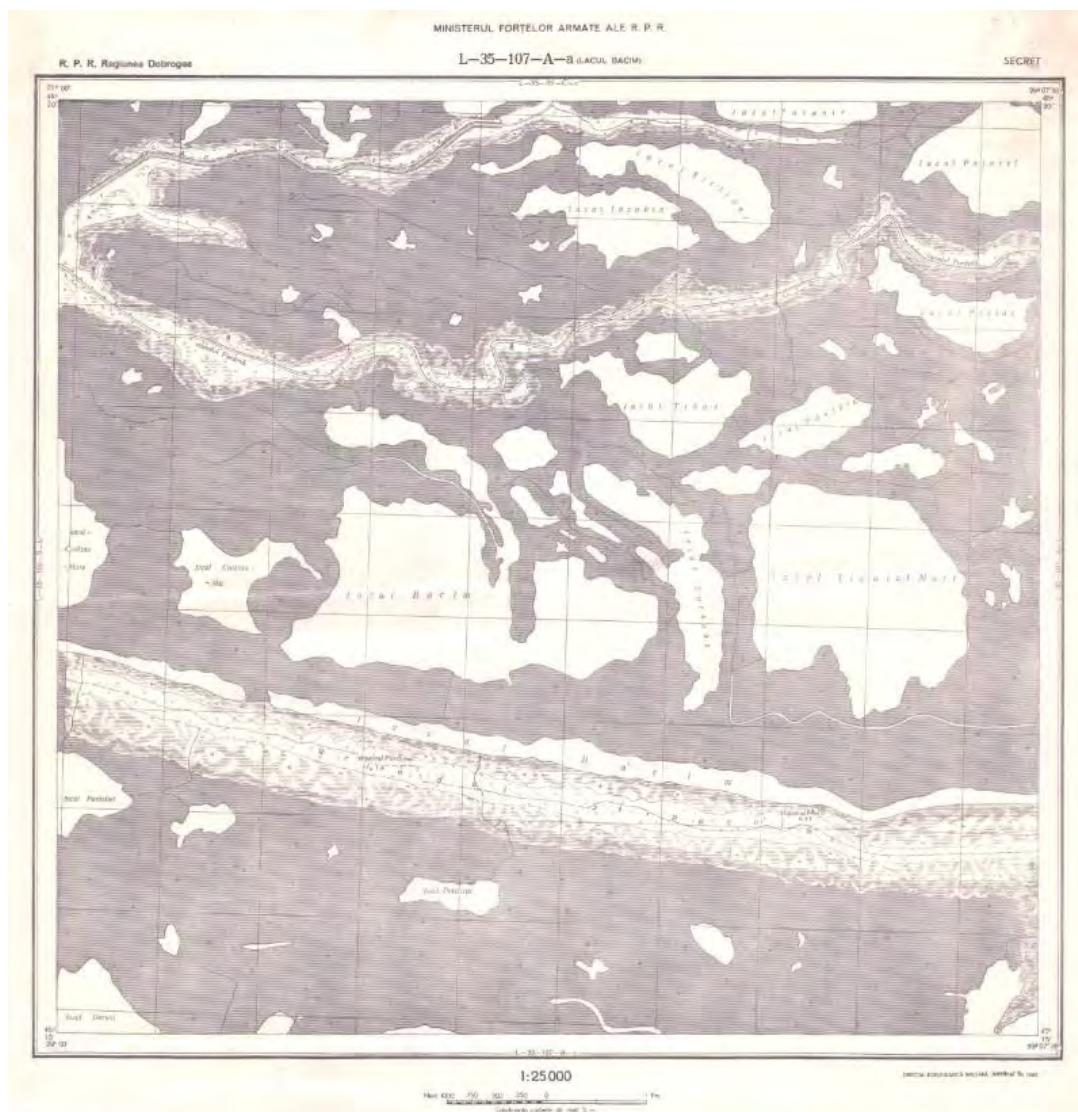


Fig.13.3 Carte topographique 1 : 25 000, feuille « Lacul Bacim », publiée en 1962

Source : Direction Topographique Militaire

Les feuilles de carte à l'échelle 1 : 25 000 qui couvrent le territoire du delta ont été imprimées entre 1960 et 1961. Ce premier set de cartes topographiques réalisé par la DTM représente un repère, car c'est la première fois que le delta est cartographié dans les moindres détails.

13.1.4 La carte hydro-topographique de 1965

Après 1960, le vaste programme d'aménagement du delta du Danube destiné à l'exploitation du roseau, l'exploitation agricole et forestière, ainsi que la mise en place des fermes piscicoles, a nécessité la réalisation de cartes mises à jour et détaillées de la région. C'est dans ce contexte qu'a vu le jour la carte hydro-topographique, établie à l'échelle 1 : 25 000, réalisée par l'Office des Eaux de l'État (Gastescu & Stiuca 2008).



Fig.13.4 La carte hydro-topographique 1962, échelle 1 : 25 000

Source : INCDDD

La carte a été réalisée entre 1962 et 1965 (Constantinescu, 2015) et c'est la seule représentation cartographique qui montre le relief du delta avec des courbes de niveau équidistantes de 0,5 m (Fig.13.4). Etant donné leur échelle de 1 : 25 000, ces cartes ont été aussi classifiées comme « secrètes » et l'accès à ces documents a été très réduit.

13.1.5 Les cartes topographiques de l'armée roumaine de 1971-1972

Entre 1967 et 1972 a lieu une actualisation rapide du premier set de cartes topographiques produites par la DTM en projection Gauss-Kruger. Les cartes sont actualisées à partir d'images photo aériennes et un nouveau set de cartes topographiques à l'échelle 1 : 50 000 est imprimé.

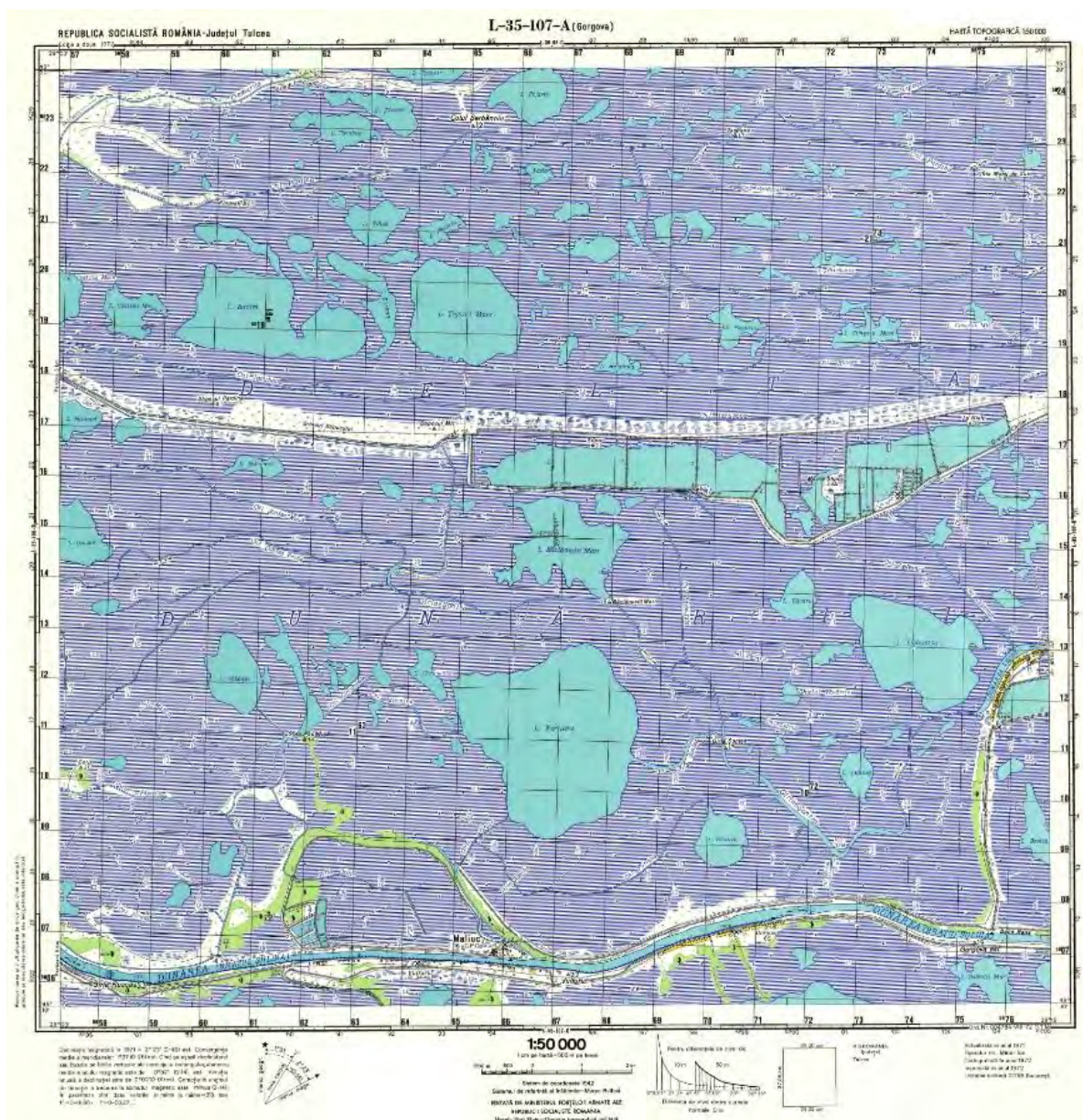


Fig.13.5 Carte topographique 1 : 50 000, feuille « Gorgova », publiée en 1972
Source : Direction Topographique Militaire

Les feuilles de carte à l'échelle 1 : 50 000 qui couvrent le territoire du delta ont été imprimées en 1972, suite à des actualisations réalisées entre 1970 et 1972. Sur ces cartes on voit déjà apparaître les premiers aménagements de l'époque communiste (Fig.13.5).

13.1.6 Les cartes russes de 1980 (?)

Avant même le déclenchement de la Seconde Guerre mondiale, l'URSS lance l'un des projets de cartographie les plus ambitieux de l'histoire. L'objectif était de réaliser la cartographie, dans les moindres détails, de l'ensemble du globe. Cette gigantesque entreprise, restée secrète, a nécessité d'engager des dizaines de milliers de spécialistes de plusieurs centres topographiques répartis dans l'ensemble de l'Union Soviétique. Ainsi, le monde entier a été cartographié aux échelles 1 : 1 000 000, 1 : 500 000 et 1 : 200 000. La plupart de l'Asie, l'Europe, l'Amérique du Nord et l'Afrique du Nord, à l'échelle 1 : 100 000. L'URSS et l'intégralité de l'Europe à l'échelle 1 : 50 000. URSS et les pays de l'Europe de l'Est à l'échelle 1 : 25 000. Des milliers de villes à travers le monde ont été cartographiées aux échelles 1 : 25 000 et 1 : 10 000. Après l'effondrement de l'URSS, le projet n'est pas resté longtemps confidentiel, et les cartes ont commencé à circuler à travers le monde à différentes échelles : 1 : 200 000, 1 : 100 000, 1 : 50 000 et même 1 : 25 000 (Craciunescu, 2012).

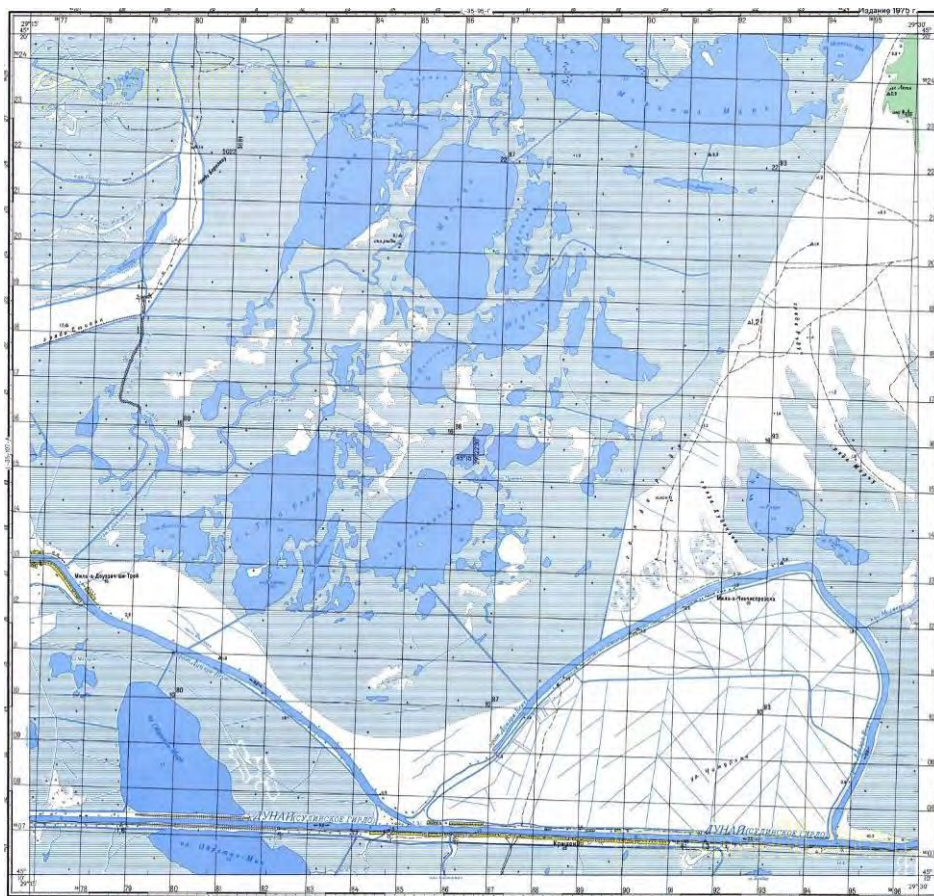


Fig.13.6 Carte russe 1980 (?) échelle 1 : 50 000

Source : geo-spatial.org

Compte tenu du caractère confidentiel du projet et de l'absence d'indications chronologiques précises (l'année de publication de la carte ne pouvant constituer qu'un repère), il reste aujourd'hui encore difficile de replacer les informations mentionnées sur les cartes russes dans un cadre temporel rigoureux.

L'appartenance de la Roumanie au bloc soviétique a donné lieu à la production, dans les années 1970-1980, d'une carte dont la qualité est comparable aux cartes topographiques militaires roumaines de 1980, et qu'on retrouve à différentes échelles comme 1 : 50 000 (Fig.13.6) ou 1 : 100 000. Il est toutefois difficile de dater avec précision la production de ces cartes, dont quelques-unes sont manquantes.

13.1.7 Les cartes topographiques de l'armée roumaine de 1980-1981

Après 1973 une nouvelle projection est adoptée, « Stereo70 ». Cette projection repose sur des éléments de l'ellipsoïde de Krasovski 1940 et a comme plan de référence la mer Noire. Entre 1972 et 1981 un nouveau set de cartes topographiques à l'échelle 1 : 25 000 est réalisé par la DTM (Fig.13.7).

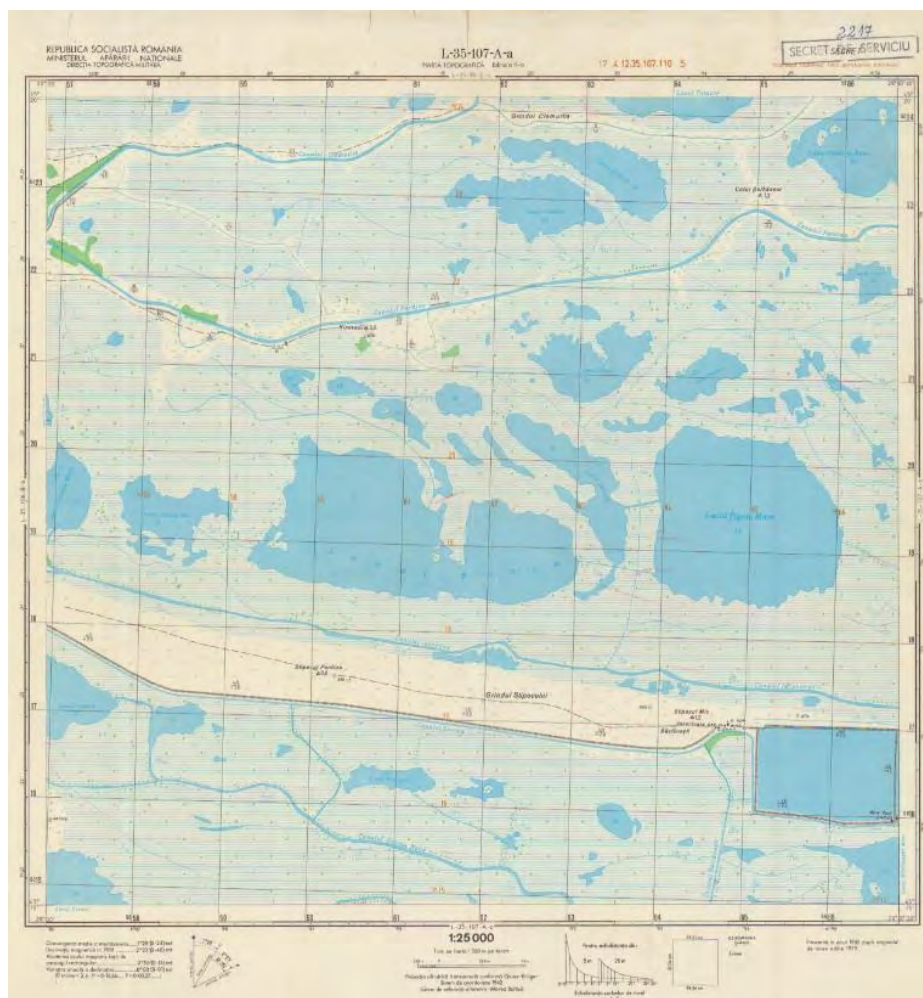


Fig.13.7 Carte topographique 1 : 25 000, publié en 1980
Source : Direction Topographique Militaire

Le projet de création de la Réserve de la Biosphère Delta du Danube a été élaboré sur la base de cette carte et des versions actualisées (qui sont encore affichées à l'Institut de recherche et développement Delta du Danube à Tulcea). Cette carte a été republiée à plusieurs reprises, en 1985, 1992, 2002, 2003, 2007, 2008, 2009, 2010, 2013 à des échelles différentes : 1 : 150 000, 1 : 200 000, 1 : 220 000, et constitue, depuis plus de 30 ans, le principal matériel cartographique utilisé pour le tourisme dans le delta.

13.1.9 Les cartes topographiques de l'armée roumaine de 1997

La Direction Topographique Militaire publie entre 1996 et 1998 un nouveau set de cartes topographiques à l'échelle 1 : 100 000 dans un nouveau système de coordonnées, le système UTM/WGS84. Les feuilles qui couvrent le territoire du delta ont été imprimées en 1996 et 1997.

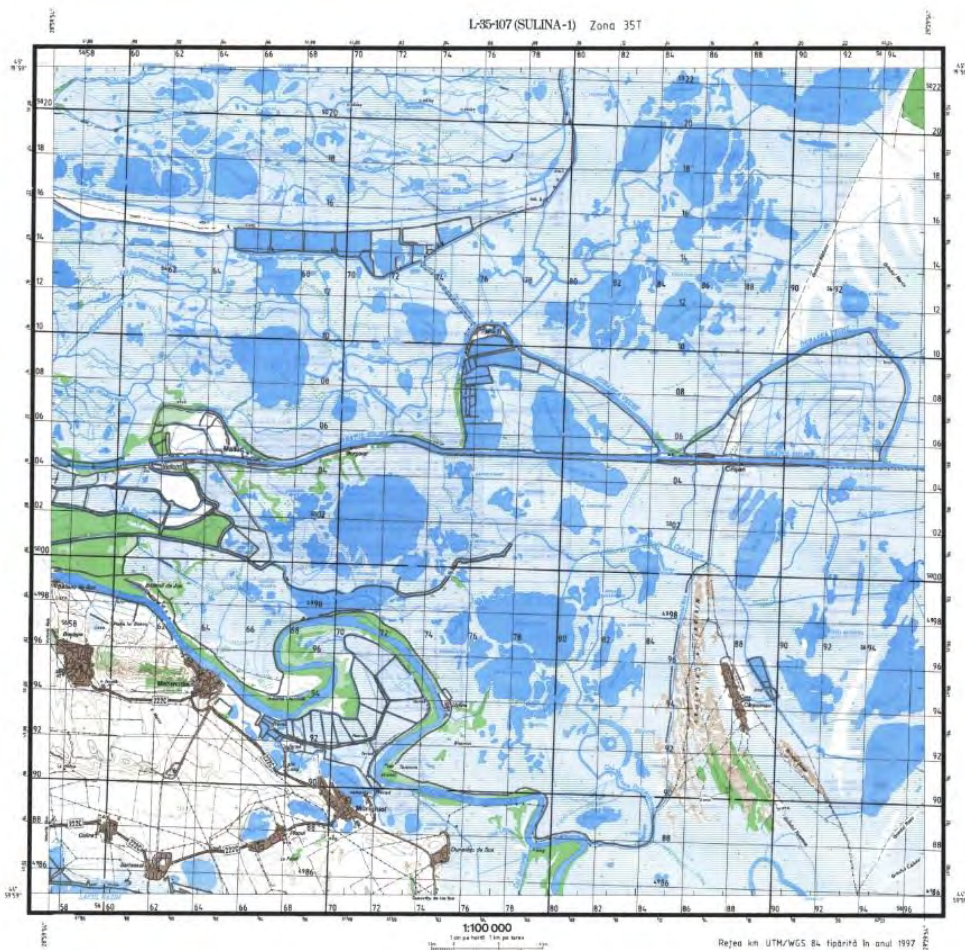


Fig.13.9 Carte topographique 1 : 100 000, feuille Sulina-1, 1997
Source : Direction Topographique Militaire

Malheureusement il s'agit seulement de placer dans une nouvelle projection d'anciennes cartes topographiques réalisées à la fin des années 1970 et au début des années 1980, le contenu n'étant pas actualisé. Sur la feuille Sulina-1 (Fig.13.9) publiée en 1997 on

observe par exemple au nord de la carte la région de Pardina, dessinée avec beaucoup de lacs et canaux, région qui avait été asséchée et transformée en polder agricole plus de 10 ans avant la publication de la carte, au début des années 1980.

13.1.10 La carte russe de 2002

On retrouve sur internet une carte « russe » dans un atlas d'Odessa à l'échelle 1 : 200 000 qui date de 2002, dont il est difficile de préciser l'origine et l'année exacte de production (Fig.13.10). Elle ne comporte ni légende ni spécification du système de projection utilisé. La carte ne couvre pas la totalité du delta, la partie sud de l'île de Sf. Gheorghe, ainsi que l'île de Dranov dans sa totalité étant manquantes. Ce document nous livre toutefois des informations intéressantes sur les aménagements, le territoire de Pardina étant dessiné avec son réseau de canaux correspondant au polder agricole. C'est la première carte que j'ai trouvée qui montre la région de Pardina transformée. Par contre, la région de Sireasa, qui a été elle aussi transformée en polder agricole au début des années 1980, est dessinée avec des lacs.

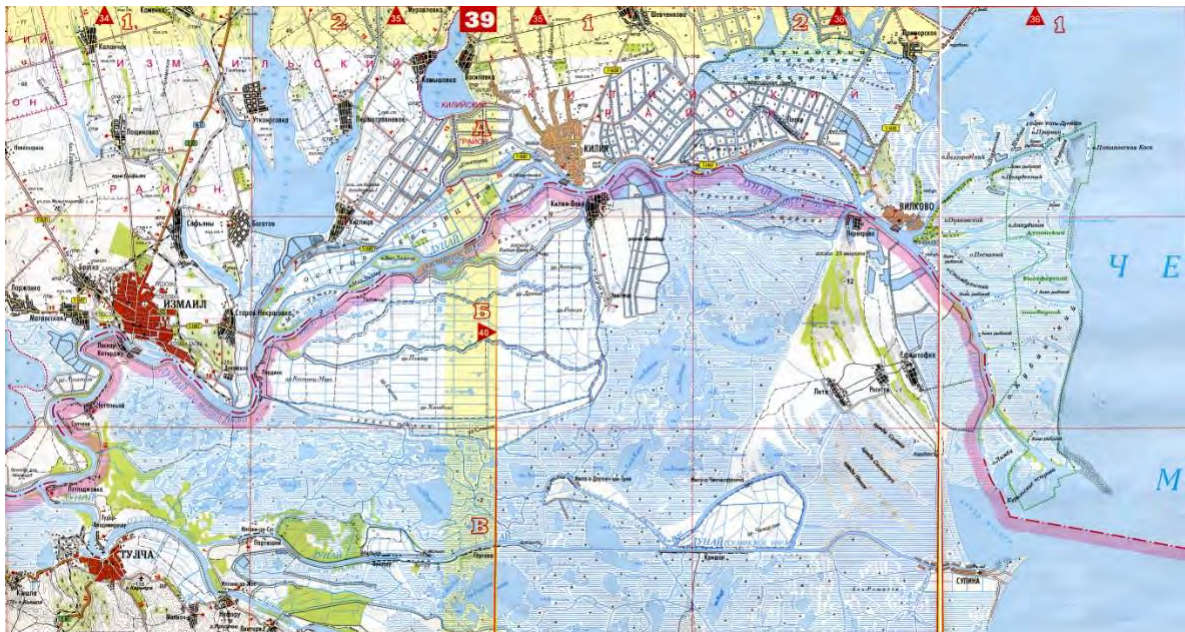


Fig.13.10 Détail de la carte russe 2002, échelle 1 : 200 000

Source : www.vildernis.eu

Cette carte nous montre l'intérêt encore vivant porté par la Russie post-communiste à la cartographie des territoires situés hors des limites de l'ancienne Union Soviétique.

13.1.11 Les cartes touristiques 1999-2010

A partir de la fin des années 1990 plusieurs acteurs s'invitent sur le marché des cartes touristiques du delta du Danube et viennent concourir à la carte de Petre Gastescu. Le Conseil Départemental de Tulcea publie à plusieurs reprises, en 1999 à l'échelle 1 : 200 000, en 2007

à l'échelle 1 : 220 000, en 2010 à l'échelle 1 : 170 000, la carte du département de Tulcea qui comprend le delta. Emil Vespremeanu, professeur en géographie-hydrologie à l'Université de Bucarest publie en 2000 une carte touristique du delta, à l'échelle 1 : 200 000. Ion Grigoras et Adrian Constantinescu chercheurs à l'Institut du delta du Danube à Tulcea publient en 2000 une carte écotouristique de la Reserve de la biosphère Delta du Danube à l'échelle 1 : 220 000. En 2010 Gheorghe Romanescu, professeur à l'Université de Iasi publie une carte-guide du delta à l'échelle 1 : 135 000.

13.2 Les images ortho-photo

Après les années 1980 aucun levé topographique au niveau national n'a été effectué et après 1998 aucune nouvelle carte topographique n'est plus produite. Un autre produit vient remplacer les cartes topographiques : les images aériennes ou les ortho-photo plans. L'organisme qui gère la distribution des ortho-photo plans est l'Agence Nationale pour le Cadastre et la Publicité de l'Immobilier (ANCPI). Plusieurs vols, en différentes années, ont été réalisés. Les missions commencent en 2005 et se poursuivent en 2008, 2009, 2010 et 2012. C'est seulement en 2005 et 2010 que la totalité du territoire de la Roumanie est couverte, les autres années, ce sont seulement des vols partiels qui ne survolent pas le delta du Danube.

13.2.1 Les images ortho-photo de 2005



Fig.13.11 Les images ortho-photo du delta du Danube de 2005

Source : www.ancpi.ro

13.2.1 Les images ortho-photo de 2010

En 2010, un nouveau set d'images aériennes d'une meilleure qualité est produit, qui couvre le delta du Danube dans sa totalité (Fig.13.12).



Fig.13.12 Les images ortho-photo du delta du Danube de 2010

Source : www.ancpi.ro

Comme pour les images de 2005 on ignore la date exacte de la réalisation des vols pour photographier le delta, mais cette fois-ci le niveau des eaux dans le delta permet de bien distinguer tous les petits canaux et lacs. Ce set d'images ortho-photos représente une référence pour l'état du delta dans la période post révolution.

13.3 L'analyse quantitative

Une analyse quantitative a été réalisée pour la période 1950-2010. Trois sets de cartes topographiques et un set d'images ortho-photos ont été choisis pour réaliser cette étude.

La première carte complète et très détaillée du delta a été la carte topographique à l'échelle 1 : 25 000 réalisée par la DTM et imprimée en 1960 et 1961, les cartes antérieures ne proposant pas une échelle appropriée pour une analyse détaillée ou n'étant pas complètes (Birca, 1948).

On note la publication en 1965 de la carte hydro-topographique que nous avons considérée trop rapprochée de notre premier repère temporaire. Ce document a été plus difficile à exploiter, en partie à cause du choix des couleurs (carte bicolore sépia/bleu), et en partie à cause de la qualité des feuilles de cartes scannées récupérées.

Le deuxième repère temporaire choisi est la carte DTM 1 : 50 000 de 1972. Réalisé par le même service de l'armée roumaine que notre première carte ce document nous a paru un repère intéressant, situé à une distance dans le temps de 10 ans, même s'il s'agit d'un changement d'échelle.

Le troisième et dernier set de cartes topographiques utilisées pour notre analyse est composé de cartes à l'échelle 1 : 25 000, réalisées par le même service DTM de l'armée en 1980 et 1981. Malheureusement, après cette date, aucun set de cartes topographiques basées sur des relevés de terrain n'est plus réalisé.

Le dernier repère temporaire de notre analyse est constitué par les images ortho-photos de 2010. Si pour les trois cartes utilisées dans notre analyse le pas a été d'environ 10 ans, l'utilisation de ce set de photos aériennes marque un saut de 30 ans. Les ortho-photos de 2005 disponibles pour le delta ne représentent pas un meilleur choix à cause du niveau élevé des eaux du Danube, étant prises probablement dans une période de crues. Même si la distance dans le temps est plus importante, en ce qui concerne les aménagements dans le delta les ortho-photos de 2010 reflètent une situation proche de 1990. Suite à la révolution roumaine de décembre 1989 la grande majorité des travaux dans le delta sont arrêtés en 1990, très peu de projets d'aménagement ont continué par « inertie » jusqu'à leur finalisation dans les premières années d'après la révolution.

Afin de simplifier la référence aux données nous allons nommer par la suite les jeux de données utilisées dans notre analyse comme les cartes DTM1960, DTM1970 et DTM1980, ainsi que les ortho-photos OP2010.

Trois grands éléments ont été choisis pour notre travail : les canaux, les digues et les lacs. Ces éléments ont fait l'objet d'une vectorisation pour les quatre dates et les résultats ont été comparés et analysés.

13.3.1 Les canaux

Trois classes ont été établies (Tableau 13.1) pour l'analyse des canaux : canaux 1 (C1) qui correspond au grands bras du Danube, canaux 2 (C2) correspondant aux grands canaux situés à l'intérieur du delta, et canaux 3 (C3) qui comprend les petits canaux. Cette classification a été plus ou moins imposée par les cartes topographiques sur lesquelles les C2 sont dessinés avec un double trait, tandis que les C3 sont représentés avec un trait simple (Fig.13.13). En moyenne les C1 ont une largeur minimum de 100 m, les C2 une largeur minimum de 20 m, et les C3 sont des canaux à moins de 20 m de largeur.

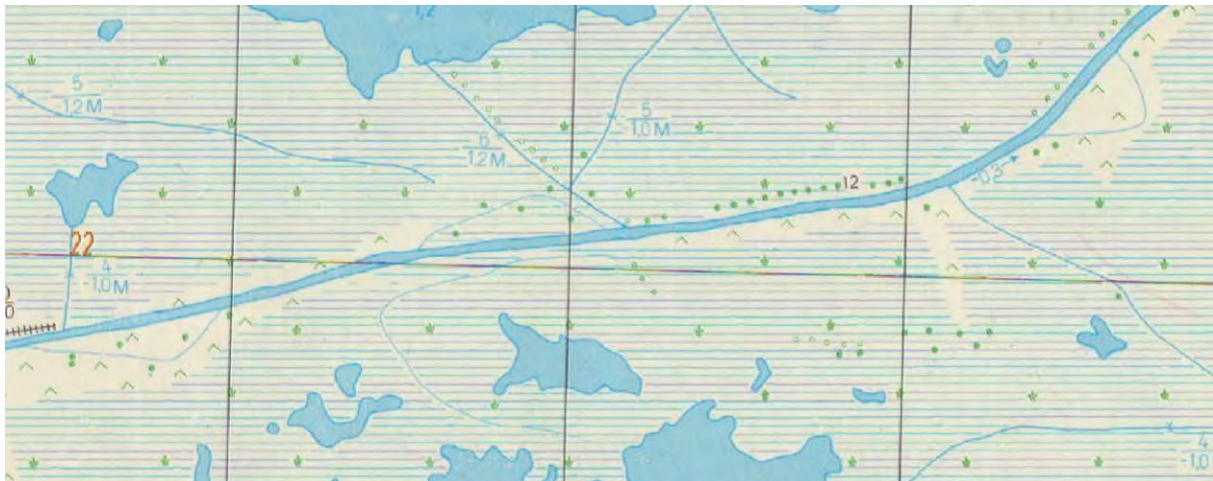


Fig.13.13 Les canaux C2 et C3, région de Pardiina

Source : DTM1980

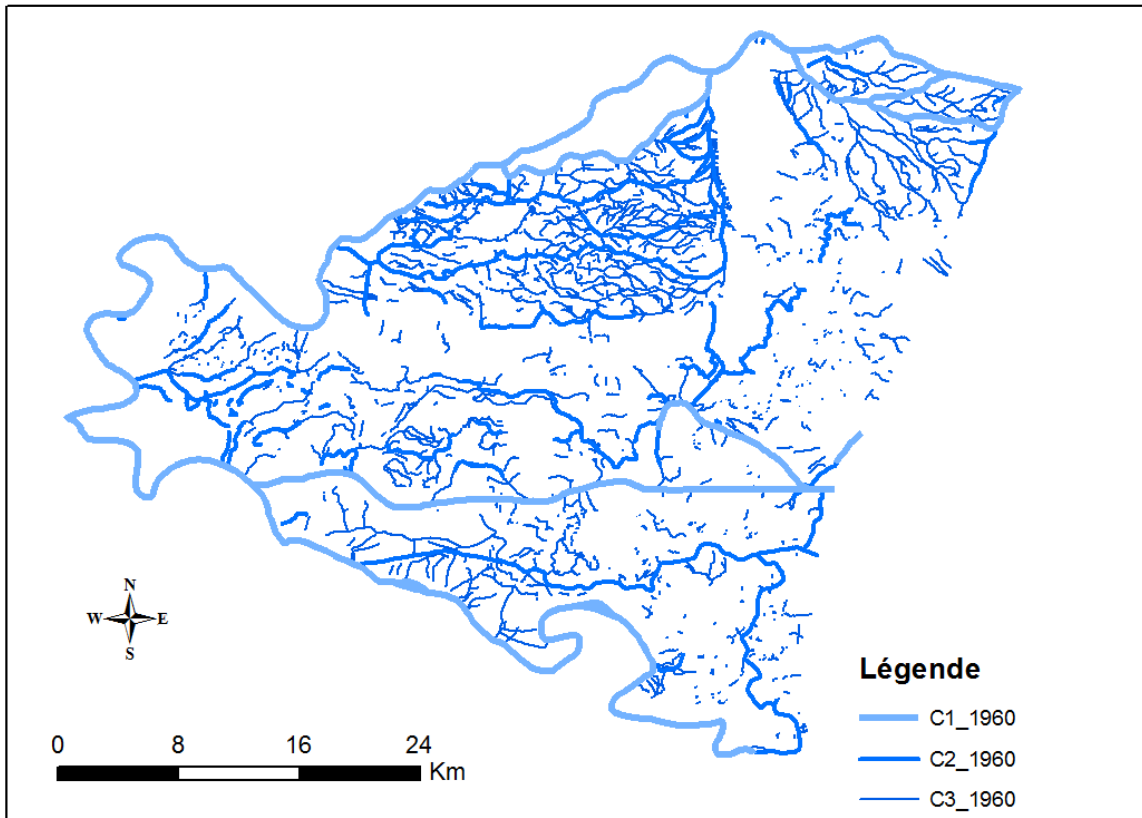
Suite à la vectorisation de la totalité des canaux de notre terrain d'étude quatre cartes ont été produites correspondant aux quatre années de référence : 1960, 1970, 1980, 2010 (Fig.13.14)

| Classes | 1960 | 1970 | 1980 | 2010 |
|--------------|----------|---------|----------|----------|
| C1 | 274,538 | 272,783 | 272,429 | 276,938 |
| C2 | 334,373 | 599,502 | 593,093 | 692,889 |
| C3 | 1029,043 | 904,315 | 1480,854 | 2466,827 |
| Total | 1637,954 | 1776,6 | 2346,322 | 3436,654 |

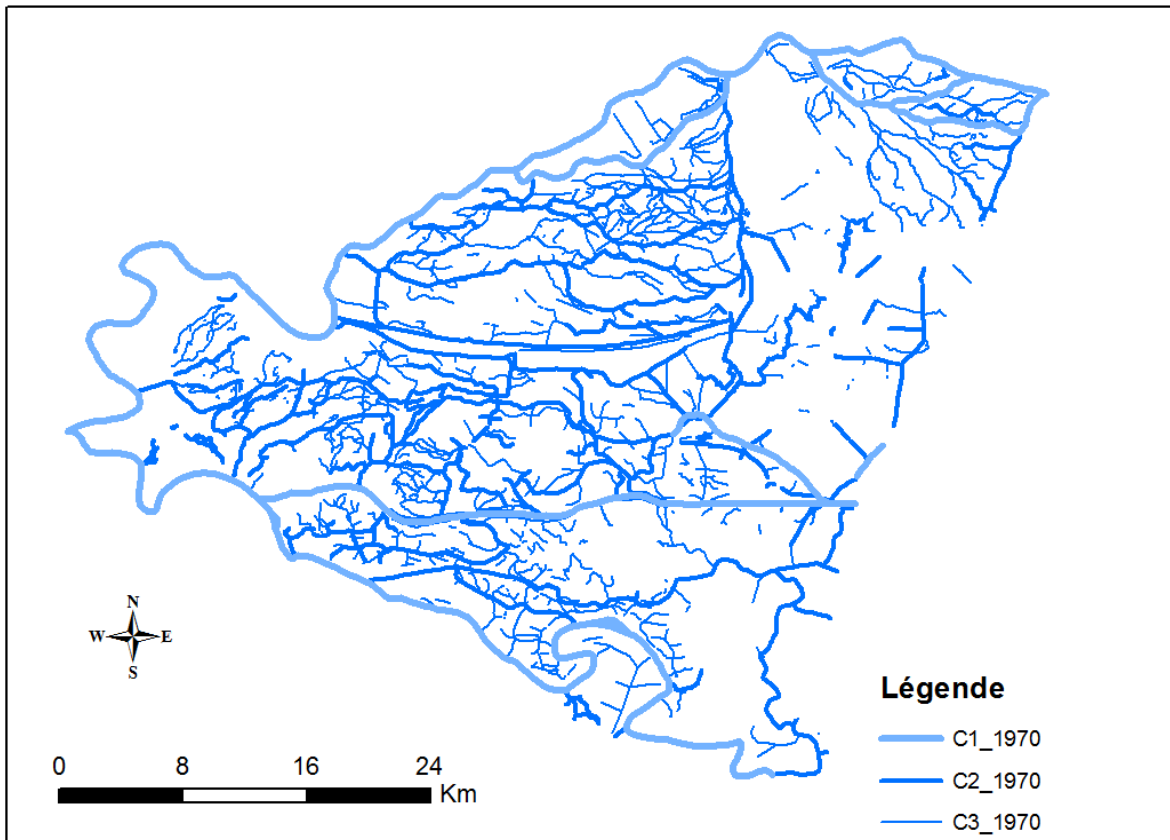
Tableau 13.1 Evolution de la longueur totale (km) des canaux par classe et par année

En ce qui concerne les C1, la petite fluctuation négative entre 1960 et 1970 est le résultat d'une évolution naturelle du Bras Sf. Gheorghe, par l'intégration dans les berges des deux petits îlots situés sur ce bras, les canaux qui les séparaient des berges ont disparu.

La hausse enregistrée entre 1980 et 2010 est liée aux recouplements des méandres du Bras Sf. Gheorghe. Sur notre terrain d'étude trois méandres font l'objet d'une telle intervention, le grand méandre situé au sud du Lac Gorgova entre 1986 et 1989, et les deux petits méandres situés en aval 1987-1989 (Guttler, 2012).

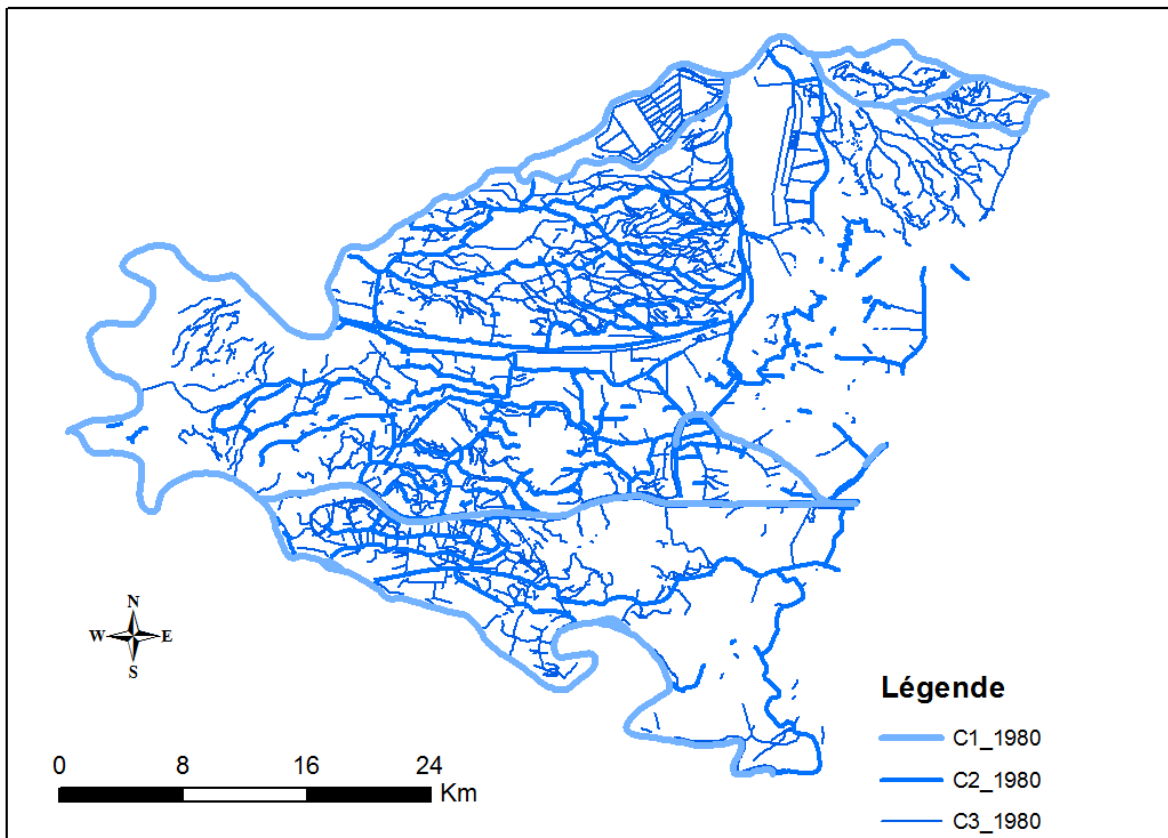


a. Réseau canaux 1960

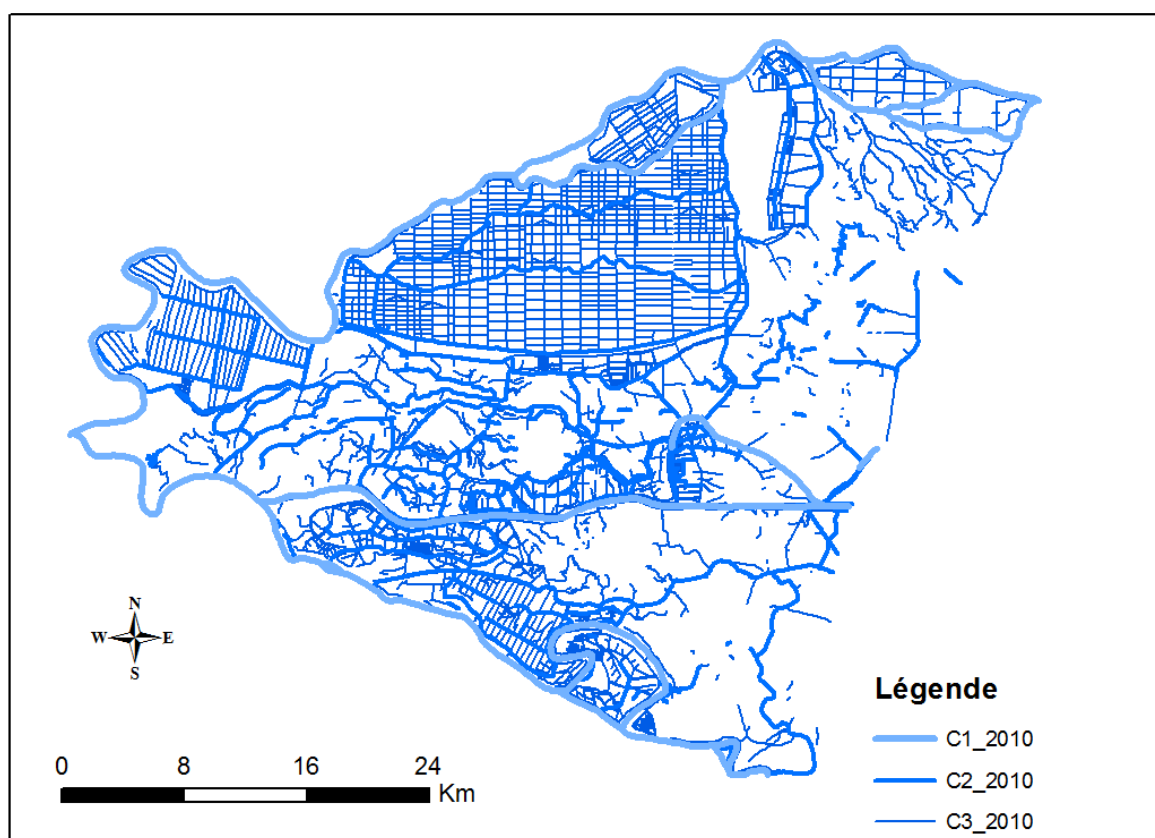


a. Réseau canaux 1970

Fig.13.14 Réseau des canaux 1960-2010



c. Réseau canaux 1980



d. Réseau canaux 2010

Fig.13.14 Réseau des canaux 1960-2010

Une autre intervention sur les C1 est liée au naufrage bizarre du bateau Rostock, qui naviguait sous drapeau ukrainien, le 2 septembre 1991 sur le Bras Sulina, dans un secteur étroit de seulement une centaine de mètres, situé aux environs du mille 31 (villages Partizani/Ilganii de Sus).



Fig.13.15 L'épave Rostock dans le Canal Sulina

Source : radioconstanta.ro

Ceci a déclenché une intervention en 1992, le chenal étant élargi à 200 m sur une longueur de 500 m (Motoc, 2014). Bateau avec une longueur de 117 m, qui s'approchait de la fin de sa période d'exploitation, ayant été fabriqué en 1973, le Rostock était lourdement chargé avec des produits sidérurgiques. Le bateau a sombré perpendiculairement sur le Bras Sulina, bloquant le chenal navigable dans sa totalité. Le chenal navigable n'a été dégagé à nouveau dans sa totalité que le 30 novembre 2005. Ce naufrage a donné l'excuse aux ukrainiens pour commencer l'aménagement du Canal Bastroe, situé sur le territoire de l'Ukraine dans le delta secondaire du Bras Chilia, pour la navigation maritime, ouvrant un deuxième accès sur le Danube aux bateaux arrivant de la mer.

Les grands canaux situés à l'intérieur du delta, les C2, montrent une augmentation très importante de 1960 à 2010. Au départ, en 1960, ils sont chiffrés à 334,373 km, puis augmentent fortement en 1970 avec 265,129 km de plus, baissent légèrement de 6,409 km en 1980, pour ré-augmenter de 99,796 km de plus en 2010. De 1960 à 2010 la longueur des canaux C2 a plus que doublé, avec une augmentation de 358,516 km.

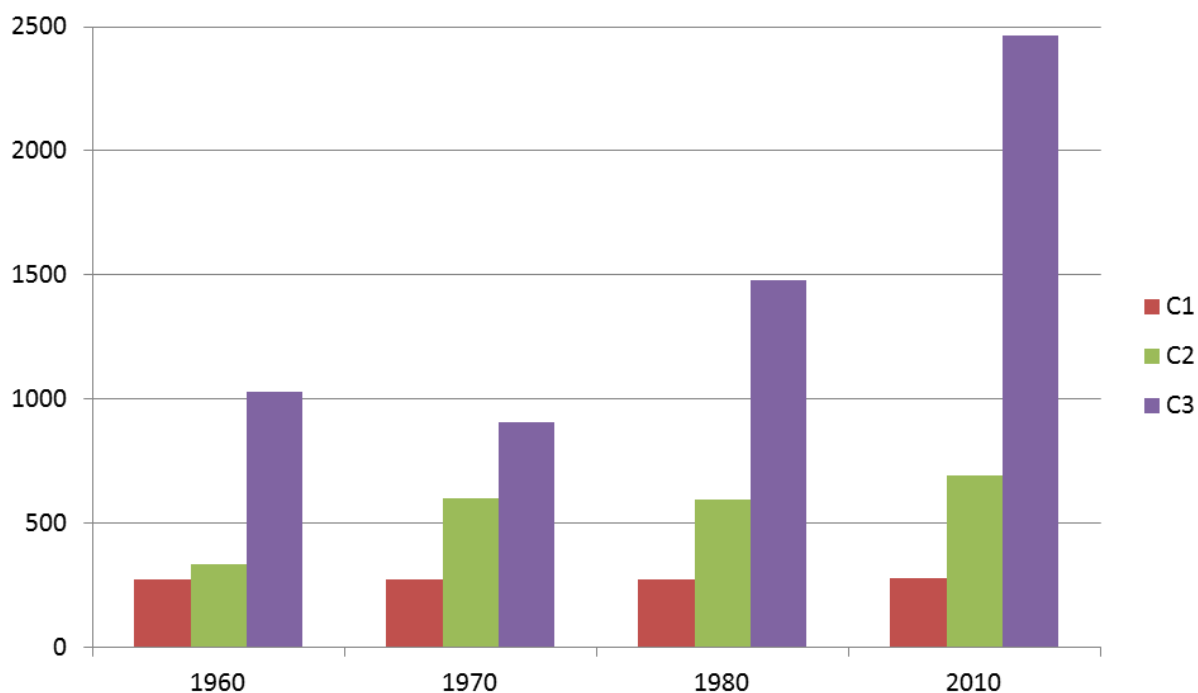


Fig.13.16 Evolution des canaux par classe 1960-2010

Les petits canaux, C3, avec 1029,043 km en 1960, sont apparemment en baisse en 1970 avec 124,734 km de moins, pour augmenter en 1980 de 576,539 km, et encore 985,974 km en 2010. La longueur des canaux C2 en 2010 est de presque deux fois et demi supérieure à celle de 1960, avec une augmentation de 1437,784 km. La baisse enregistrée entre 1960 et 1970 est très probablement liée au changement d'échelle, 1 : 25 000 en 1960 et 1 : 50 000 en 1970, certains petits canaux n'étant pas représentés sur la carte de 1970. On apprécie une évolution constante positive sur l'ensemble de la période analysée, liée aux différentes périodes d'aménagement du delta.



Fig.13.17 Le creusement des canaux dans le delta avec des dragues

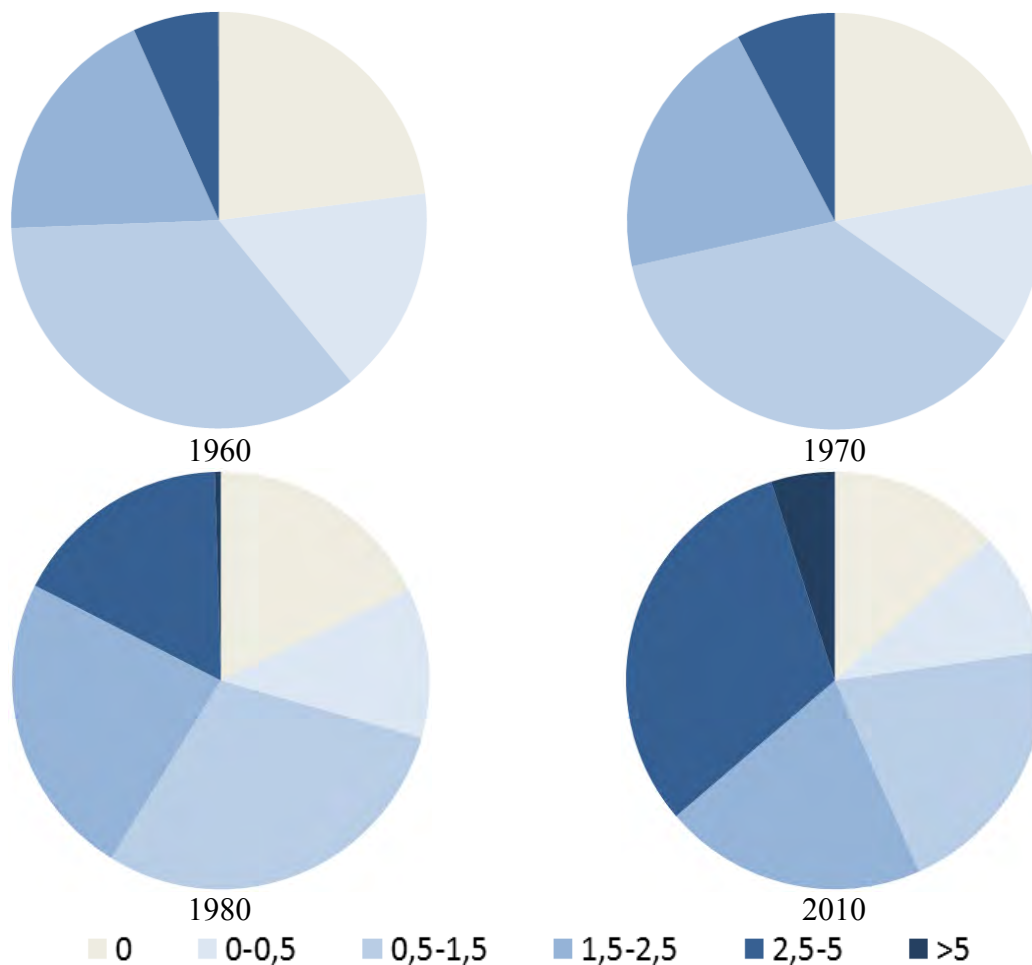
Source : C. Motoc

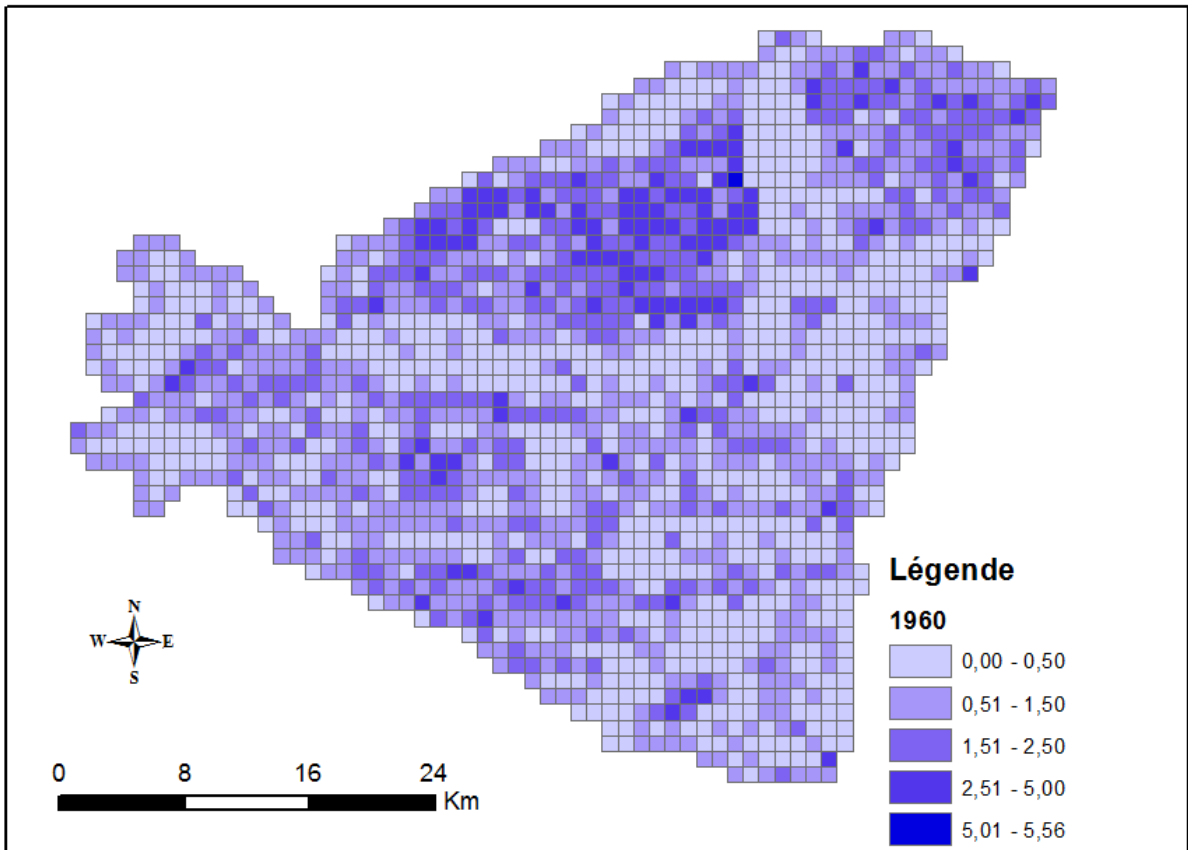
Au total, la longueur des canaux C1, C2 et C3 a plus que doublé pendant la période analysée, passant de 1637, 954 km en 1960 à 3436, 654 km, soit une augmentation de 1798,7 km.

Pour mieux localiser et quantifier les changements, une grille avec des carrés de 1 km² a été créée. 1699 carrés couvrent notre terrain d'étude, et quatre cartes ont été réalisées pour montrer la densité du réseau des canaux pour les quatre dates analysées (Fig.13.17). Le réseau de canaux a été coupé d'après le carroyage mis en place et la longueur totale des canaux existants dans chaque km² a été calculée. Cinq classes correspondant à la densité des canaux ont été différenciées plus une sixième pour les carrés où aucun canal n'est présent (Tableau 13.2).

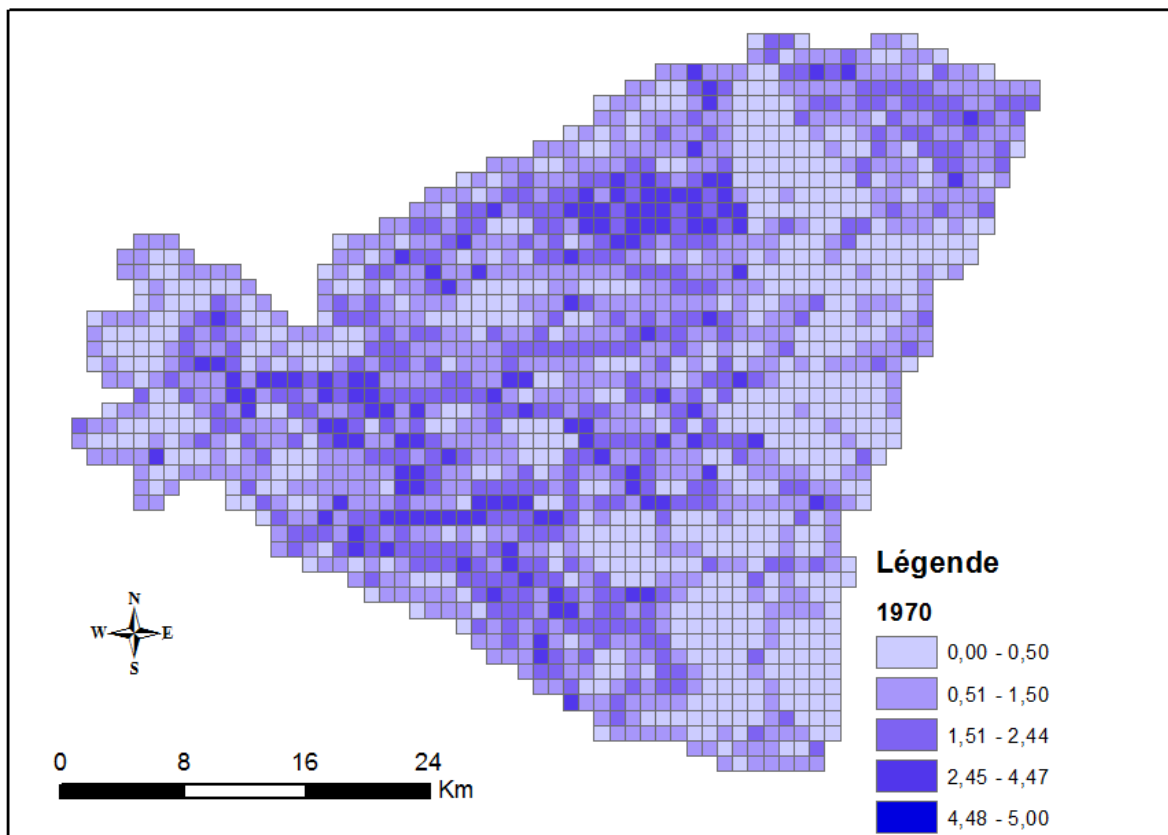
| Classes | 1960 | 1970 | 1980 | 2010 |
|---------|------|------|------|------|
| 0 | 390 | 375 | 303 | 225 |
| 0-0,5 | 274 | 215 | 197 | 162 |
| 0,5-1,5 | 600 | 625 | 499 | 350 |
| 1,5-2,5 | 321 | 353 | 403 | 346 |
| 2,5-5 | 113 | 131 | 289 | 532 |
| >5 | 1 | 0 | 8 | 84 |

Tableau 13.2 Evolution des classes de densité des canaux per km² par année



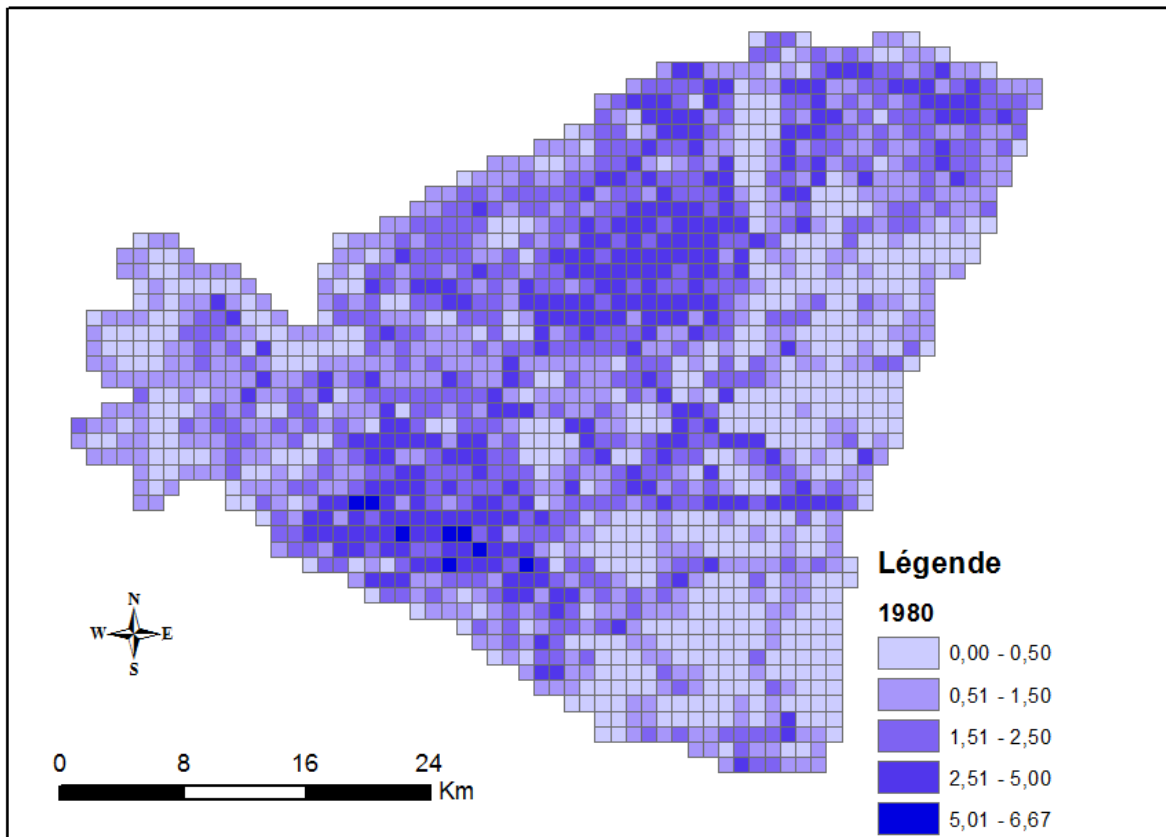


a. Densité canaux 1960

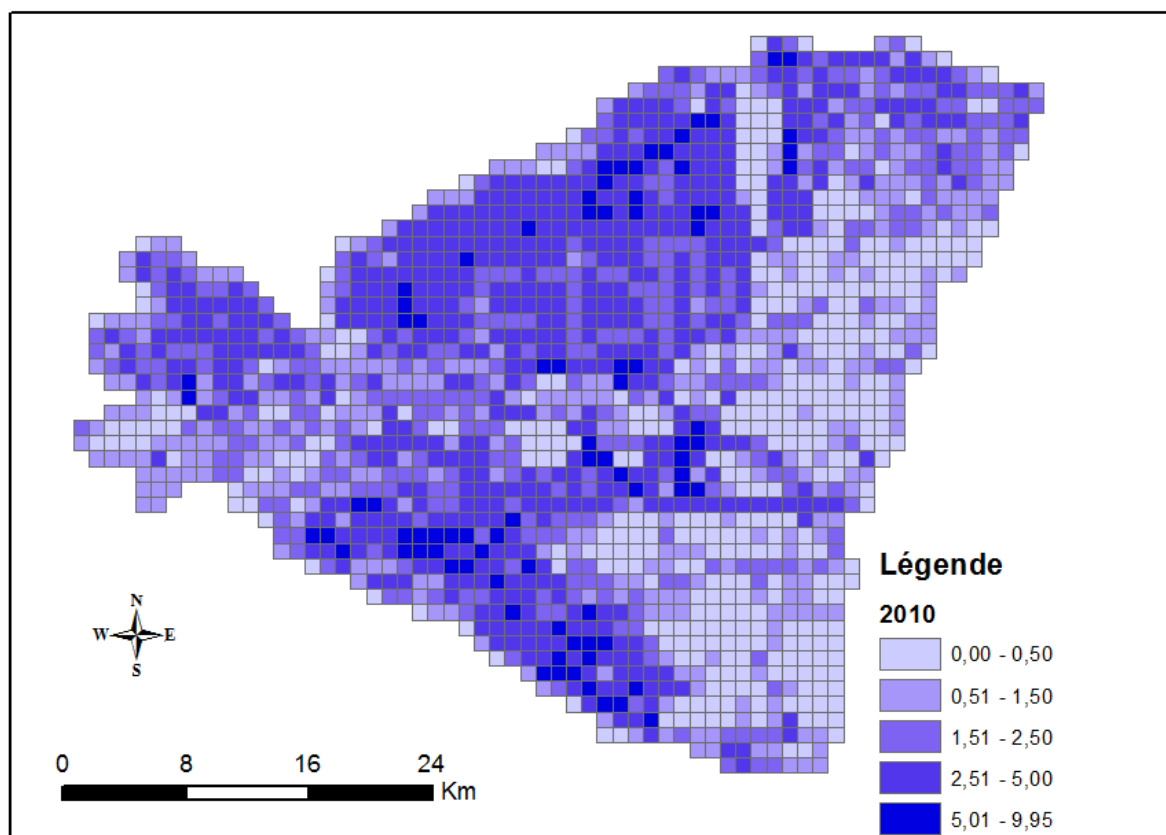


b. Densité canaux 1970

Fig.13.18 Densité des canaux 1960-2010



c. Densité canaux 1980



d. Densité canaux 2010

Fig.13.18 Densité des canaux 1960-2010

La classe « 0 », correspondant aux km² sans aucun canal, a en 1960 390 individus, diminue de 15 individus en 1970, enregistre encore une perte de 72 individus en 1980, et en perd encore 75 en 2010. De 1960 à 2010, il y a 165 individus de moins, soit une perte de 42,3%.

La classe « 0-0,5 » qui correspond au km² avec une très faible densité du réseau de canaux, comprend 274 individus en 1960, en perd 59 en 1970, encore 18 en 1980 et 15 individus de moins pour finir en 2010. Sur l'ensemble de la période analysée, on constate une perte de 113 individus, qui correspond à 40,8%.

La classe « 0,5-1,5 », les km² avec une faible densité du réseau des canaux, est constituée de 600 individus en 1960, augmente de 25 individus en 1970, en perd 126 en 1980, et encore 149 en 2010. De 1960 à 2010, la perte totale s'élève à 250 individus, soit une perte de 41,6%.

La classe « 1,5-2,5 », qui correspond au km² avec une densité moyenne du réseau de canaux, comprend 321 individus en 1960, augmente de 32 individus en 1970 et encore de 50 en 1980, pour perdre 57 individus en 2010. Sur l'ensemble de la période nous avons une augmentation de 25 individus, soit 7,7% de plus.

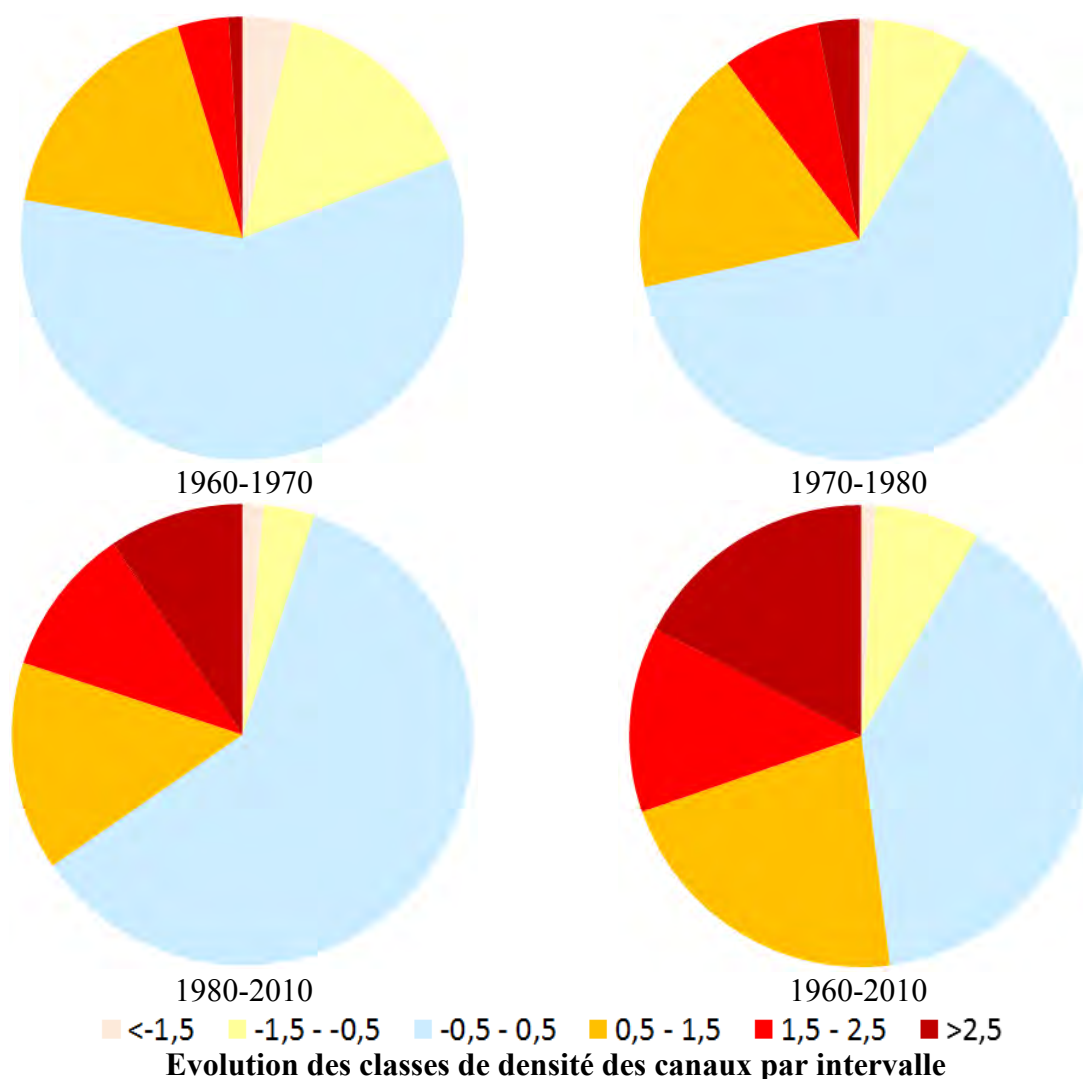
La classe « 2,5-5 », les km² avec une forte densité du réseau des canaux, a 113 individus en 1960, en gagne 18 en 1970, encore 151 individus en 1980 pour finalement une grosse augmentation de 243 individus en 2010. De 1960 à 2010, l'effectif augmente de 419 individus, soit une hausse de 370,8%.

Enfin, la classe « >5 », qui correspond au km² avec une très forte densité du réseau de canaux, comprend un seul individu en 1960, 0 en 1970, 8 en 1980 et 76 individus de plus en 2010. Sur l'ensemble de la période nous avons un gain de 83 individus.

Pour localiser les changements dans la densité du réseau de canaux nous avons fait la différence entre la longueur des canaux dans chaque km² du carroyage établi. Quatre cartes ont été produites qui montrent les changements de 1960 à 1970, de 1970 à 1980, de 1980 à 2010, et de 1960 à 2010 (Fig.13.18). En fonction des changements dans la longueur des canaux dans chaque km², sept classes ont été différenciées (Tableau 13.3).

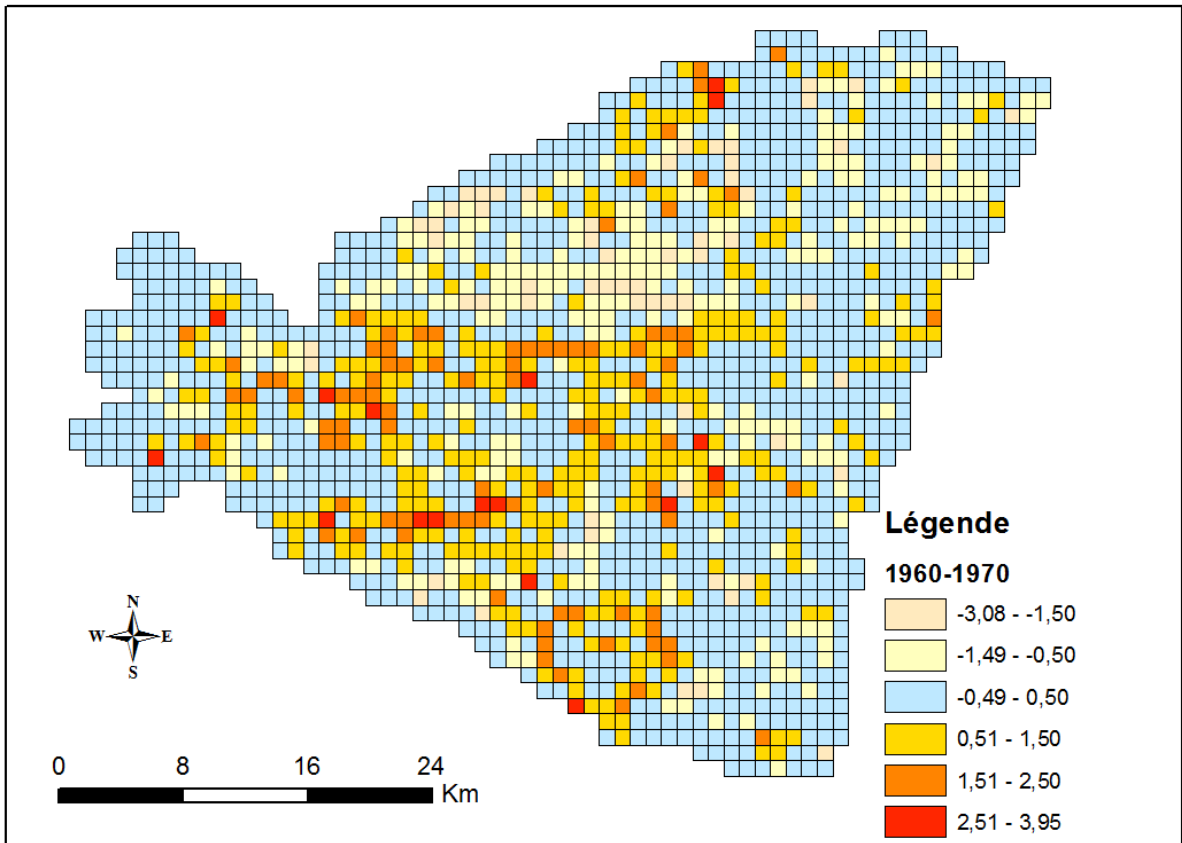
| Classes | 1960-1970 | 1970-1980 | 1980-2010 | 1960-2010 |
|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| <-1,5 | 61 | 19 | 25 | 17 |
| -1,5 à -0,5 | 259 | 123 | 61 | 125 |
| -0,5 à 0,5 | 978 | 1074 | 1025 | 674 |
| 0,5 à 1,5 | 292 | 309 | 249 | 368 |
| 1,5 à 2,5 | 62 | 122 | 178 | 221 |
| >2,5 | 17 | 52 | 161 | 294 |

Tableau 13.3 Evolution des classes de densité des canaux par intervalle

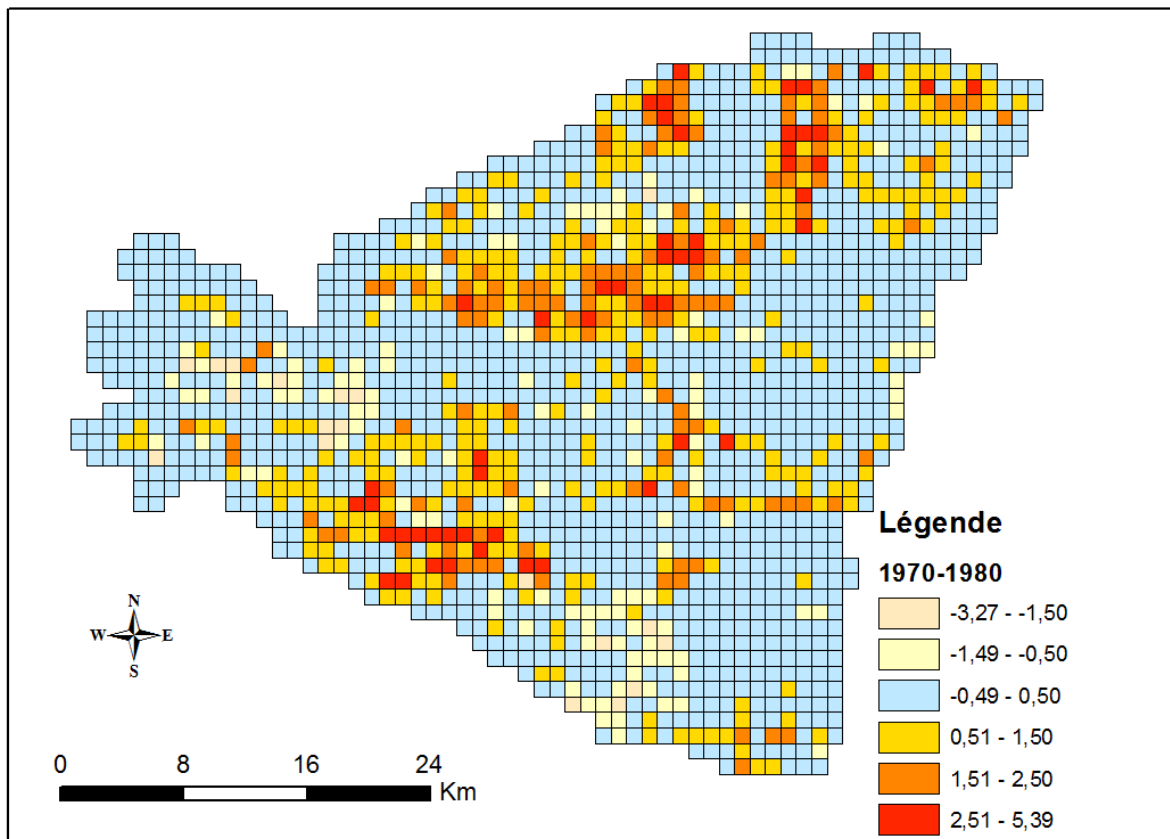


Entre 1960 et 1970, 978 km² ont subi peu ou pas de changements, la classe « -0,5 – 0,5 ». 198 individus sont dans les classes qui correspondent à la diminution du réseau de canaux, et 371 individus dans les classes dont la longueur des canaux a augmenté. Pendant cette période les changements ne sont pas localisés sur certaines régions en particulier mais sont diffus sur l'ensemble de notre terrain d'étude (Fig.13.18 a).

De 1970 à 1980 il y a 1074 km² avec peu ou pas de changements, 142 individus dans les classes correspondent à la diminution du réseau de canaux, et 483 individus dans les classes dont la longueur des canaux ont augmenté. Dans cet intervalle de temps les changements sont plus ciblés sur les régions de Pardina, Chilia, Rusca et Obretin (Fig.13.18 b).

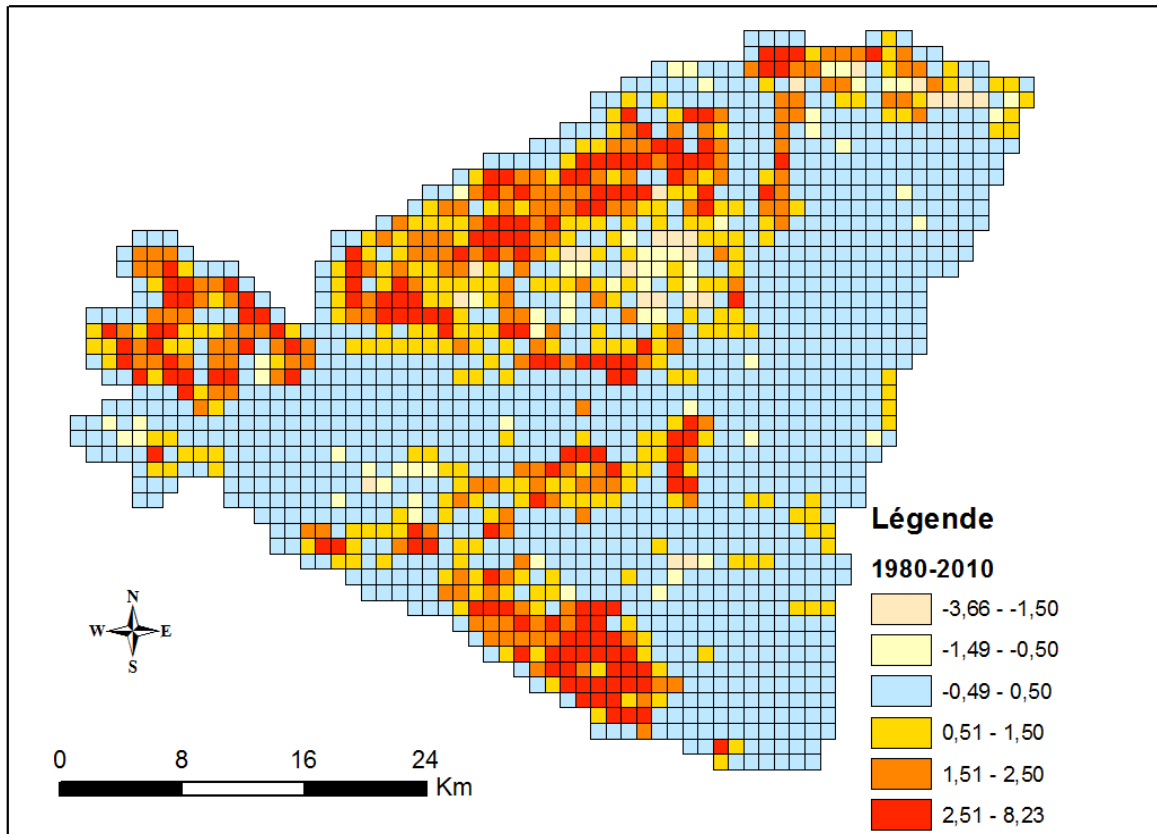


a. Evolution canaux 1960-1970

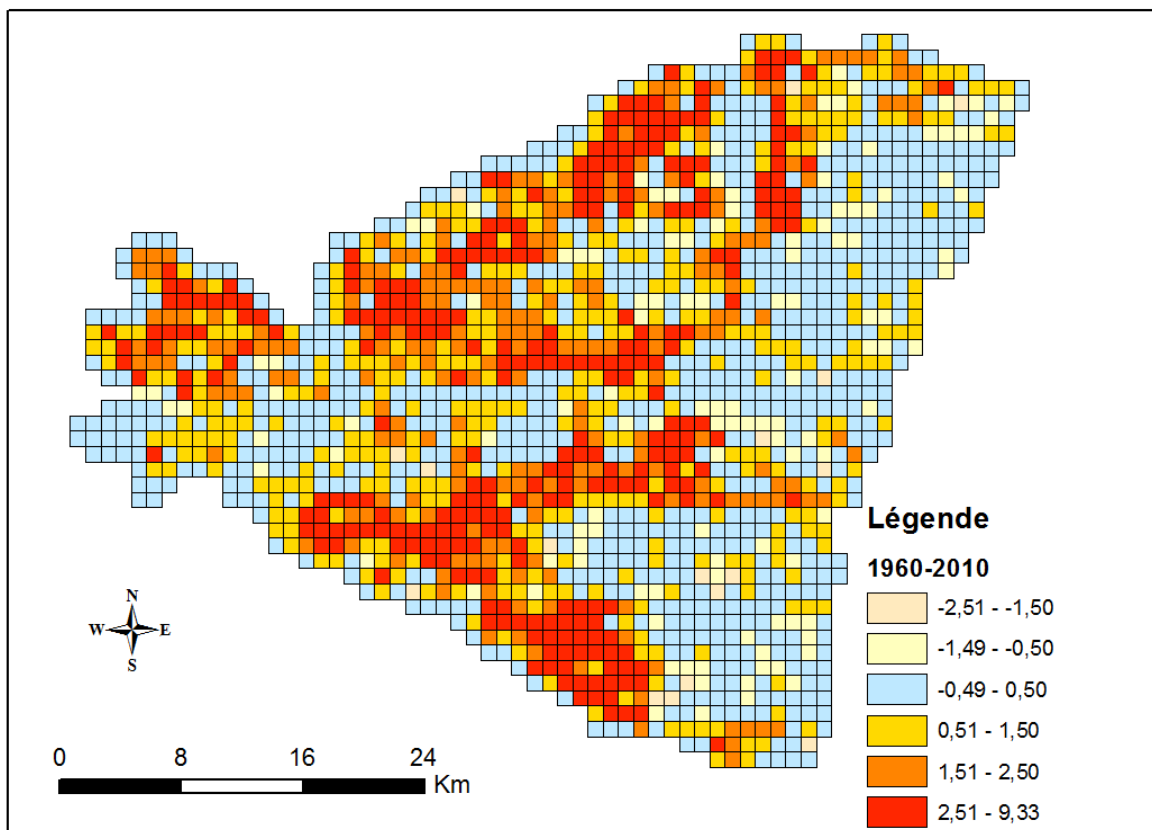


b. Evolution canaux 1970-1980

Fig.13.19 L'évolution des canaux 1960-2010



c. Evolution canaux 1980-2010



d. Evolution canaux 1960-2010

Fig.13.19 L'évolution des canaux 1960-2010

Entre 1980 et 2010, nous retrouvons 1025 individus dans la classe avec peu ou pas de changements, 86 individus dans les classes correspondant à la diminution de la longueur du réseau, et 588 km² ou la longueur des canaux a augmenté. Pendant cette période nous avons toujours des changements dans les régions de Pardina, Chilia et Obretin, mais d'autres régions nouvelles s'ajoutent : Sireasa, Babina, Cernovca, Furtuna et au sud de Gorgova, et les méandres du Bras Sf. Gheorghe (Fig.13.18 c).

Sur l'ensemble de la période analysée, seulement 674 km² ont subi peu ou pas de changements, tandis que 1025 individus sont dans les classes avec des changements, soit 60,3% de la surface de notre terrain d'étude. La plupart des individus, 883, sont dans les classes avec de modifications positives, seulement 142 individus sont dans les classes correspondant à la perte dans la longueur des canaux. Sur l'ensemble de la période analysée quasiment la totalité de notre terrain d'étude a subi des changements, seulement certaines régions situées sur les rives de Chilia et Stipoc, ou couvertes par les grands lacs de cette partie du delta (Merhei, Matita, Furtuna, Gorgova, Isac...) étant épargnées des changements profonds (Fig.13.18 d).

13.3.2 Les digues

Seulement deux classes ont été créées pour différencier les digues réalisées sur notre terrain d'étude, encore une fois cette classification étant imposée par les cartes topographiques. Les digues 1 (D1) sont dessinés sur les cartes avec un trait double et correspondent aux grandes digues de contour des différents aménagements (Fig.13.19 a), aux digues de protection des villages et des berges des grands bras du delta. Les digues 2 (D2), plus petites, sont les digues situées à l'intérieur des aménagements (Fig.13.19 b).



Digues 1 A.P. Obretin
Photo :T.Groparu, 2013



Digues 2 A.P. Stipoc
Photo :T.Groparu, 2013

Fig.13.20 Types de digues

La totalité du linéaire de digues a fait l'objet d'une vectorisation pour les quatre années de référence (1960, 1970, 1980, 2010), permettant ainsi de jauger l'évolution dans le temps de ces aménagements (Tableau 13.4).

| Classes | 1960 | 1970 | 1980 | 2010 |
|-------------------|--------|---------|---------|----------|
| D1 (km) | 40,548 | 322,573 | 556,738 | 901,378 |
| D2 (km) | 48,897 | 54,021 | 261,884 | 435,211 |
| Total (km) | 89,445 | 376,594 | 818,622 | 1336,589 |

Tableau 13.4 Evolution de la longueur des digues par classes et par année

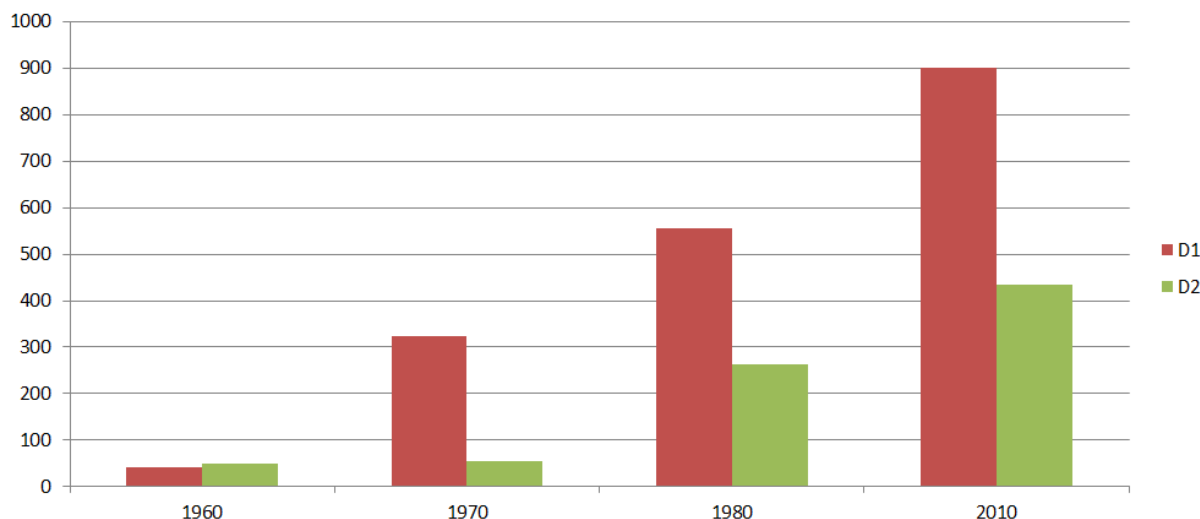


Fig.13.21 Evolution des digues par classe 1960-2010

En 1960, 89,4 km de digues sont dessinés sur les cartes topographiques, dont 40,5 km dans la catégorie des grandes digues, et 48,9 dans la deuxième classe.

En 1970 nous avons au total 376,6 km de digues, soit 287,1 km de plus qu'en 1960, ce qui représente une augmentation de 321%. La plupart des nouvelles digues sont dans la classe D1, avec 282 km de plus qu'en 1960, alors que dans la classe D2 on enregistre une augmentation de seulement 5,1 km.

L'année 1980 nous indique une nouvelle forte croissance avec une augmentation de 442 km par rapport à 1970, avec des augmentations importantes dans les deux classes : 234 km de plus dans la classe D1 et 207,8 km en plus dans la classe D2.

En 2010 la longueur des digues a augmenté de nouveau de façon spectaculaire, avec 517,9 km de plus qu'en 1980. Pour la classe D1 nous avons une hausse de 344,6 km, et pour la classe D2, 173,3 km de plus.

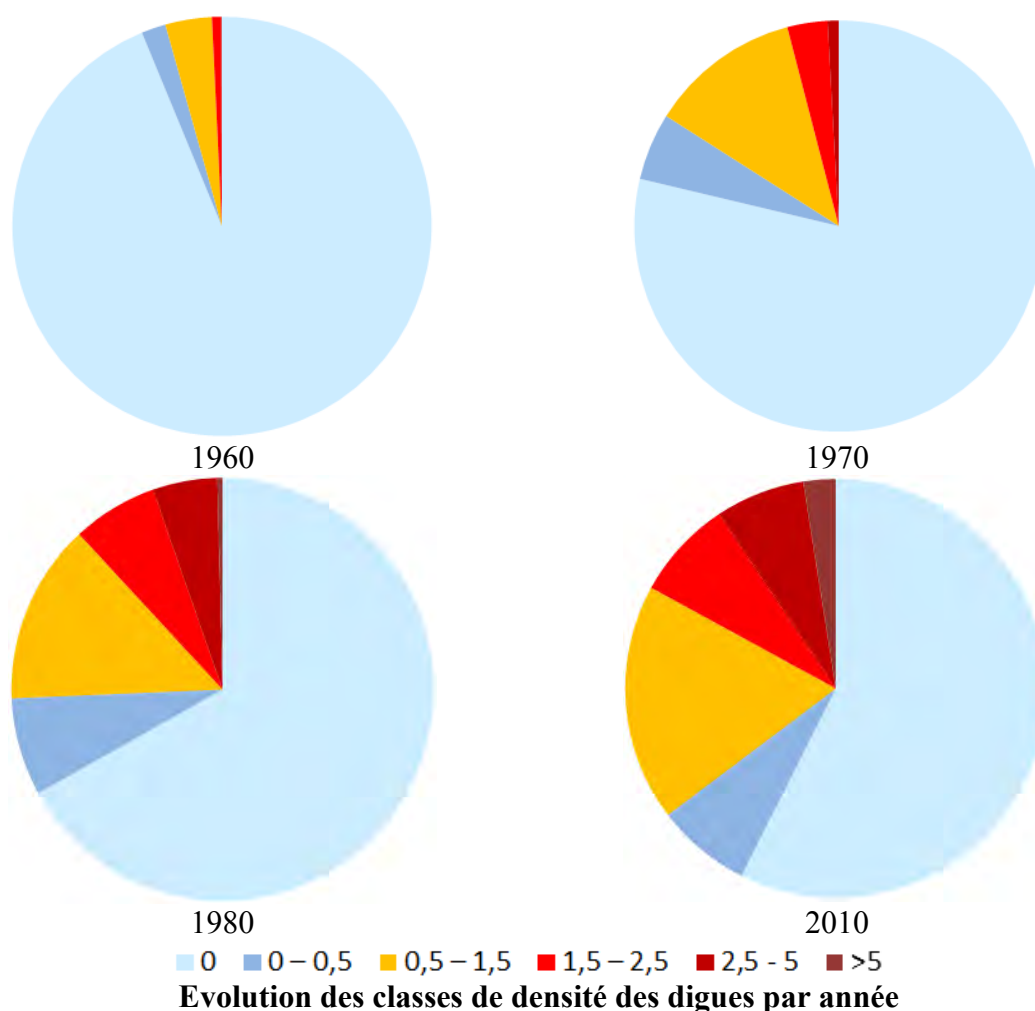
Pendant la période de temps analysé, de 1960 à 2010, 1247,1 km de digues ont été érigés, 860 km dans la classe D1, et 386,3 km dans la classe D2.

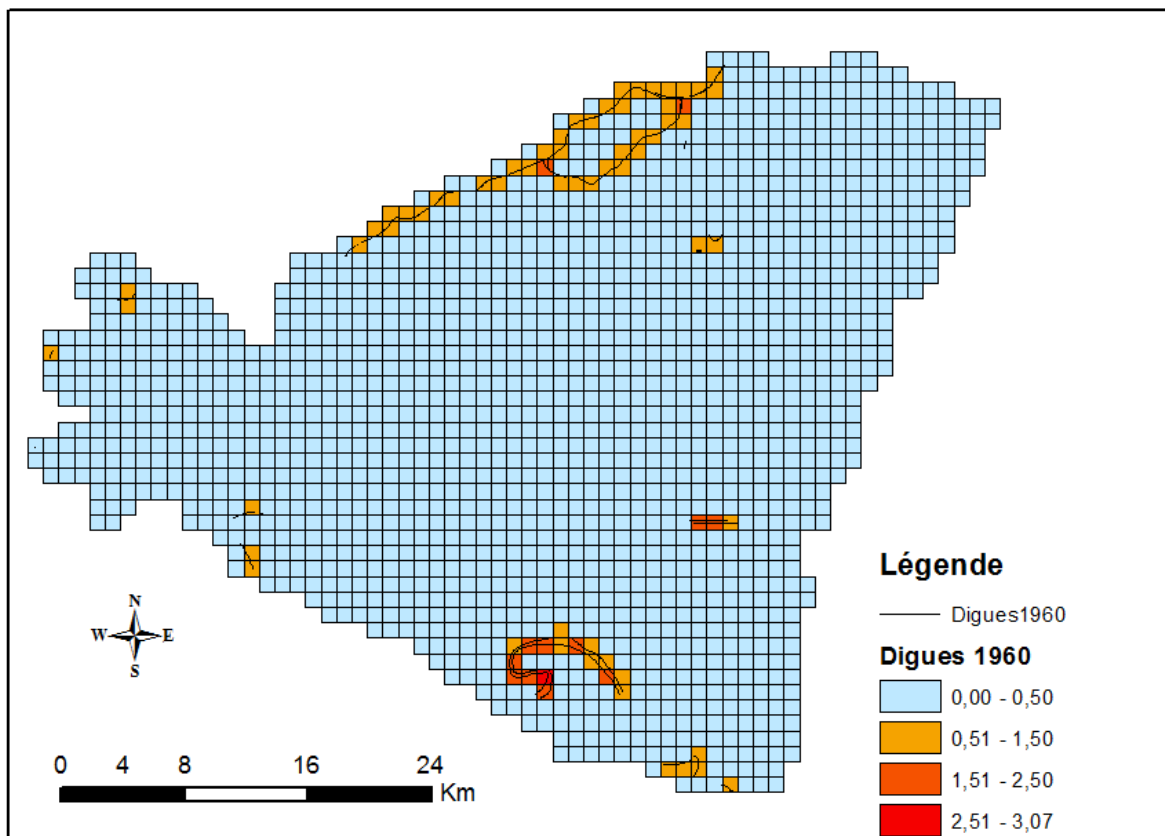
Pour mieux localiser et quantifier la densité des digues sur notre terrain d'étude, le même carroyage composé de 1 699 km² a été utilisé et la longueur totale des digues a été calculée pour chaque carré. Quatre cartes, correspondant aux quatre années de référence ont été réalisées (Fig.13.20).

Six classes correspondant aux différentes densités des digues ont été choisies : la classe « 0 » pour les km² sans digues ; la classe « 0-0,5 » pour les carrés à très faible densité ; la classe « 0,5-1,5 » pour les faibles densités ; la classe « 1,5-2,5 » correspondant aux densités moyennes ; la classe 2,5-5 pour les carrés avec une forte densité ; et la classe « >5 » pour les très forte densités (Tableau 13.5).

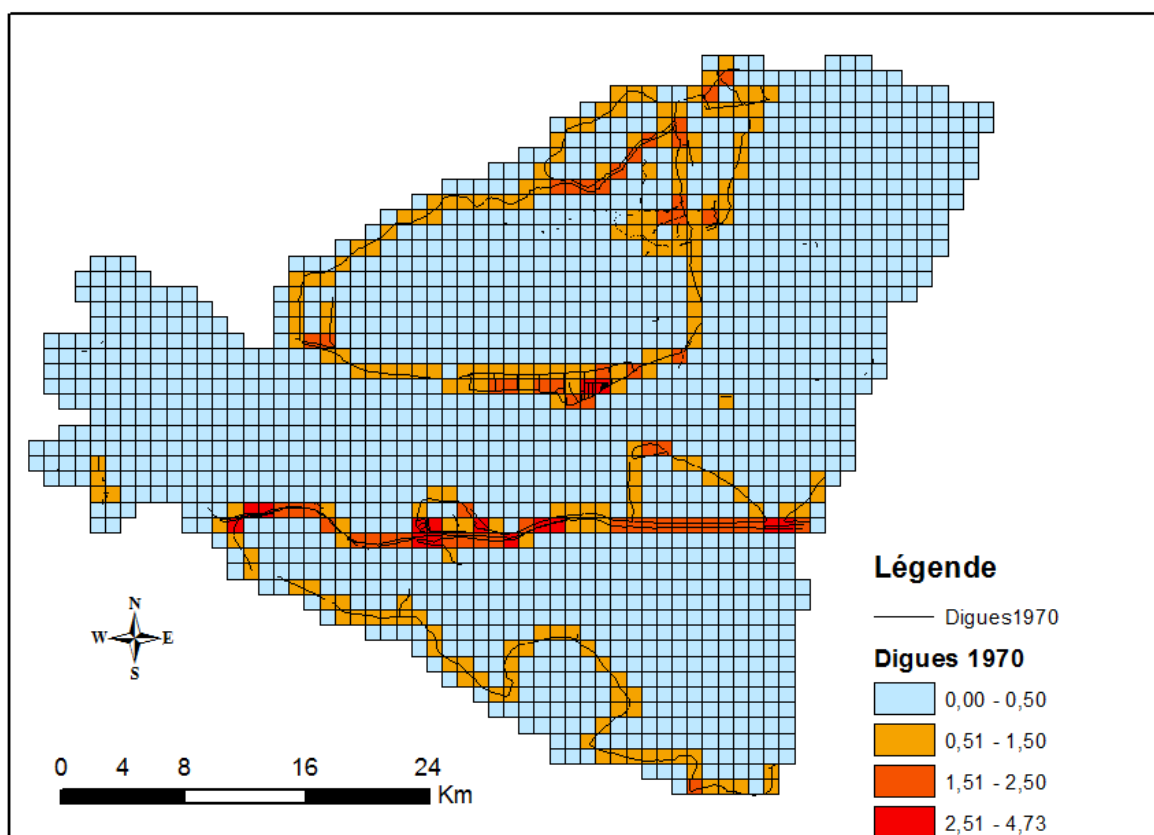
| Classes | 1960 | 1970 | 1980 | 2010 |
|-----------|------|------|------|------|
| 0 | 1593 | 1337 | 1136 | 975 |
| 0 à 0,5 | 32 | 90 | 127 | 124 |
| 0,5 à 1,5 | 61 | 203 | 234 | 311 |
| 1,5 à 2,5 | 12 | 54 | 111 | 130 |
| 2,5 à 5 | 1 | 15 | 84 | 117 |
| >5 | 0 | 0 | 7 | 42 |

Tableau 13.5 Evolution des classes de densité des digues par année



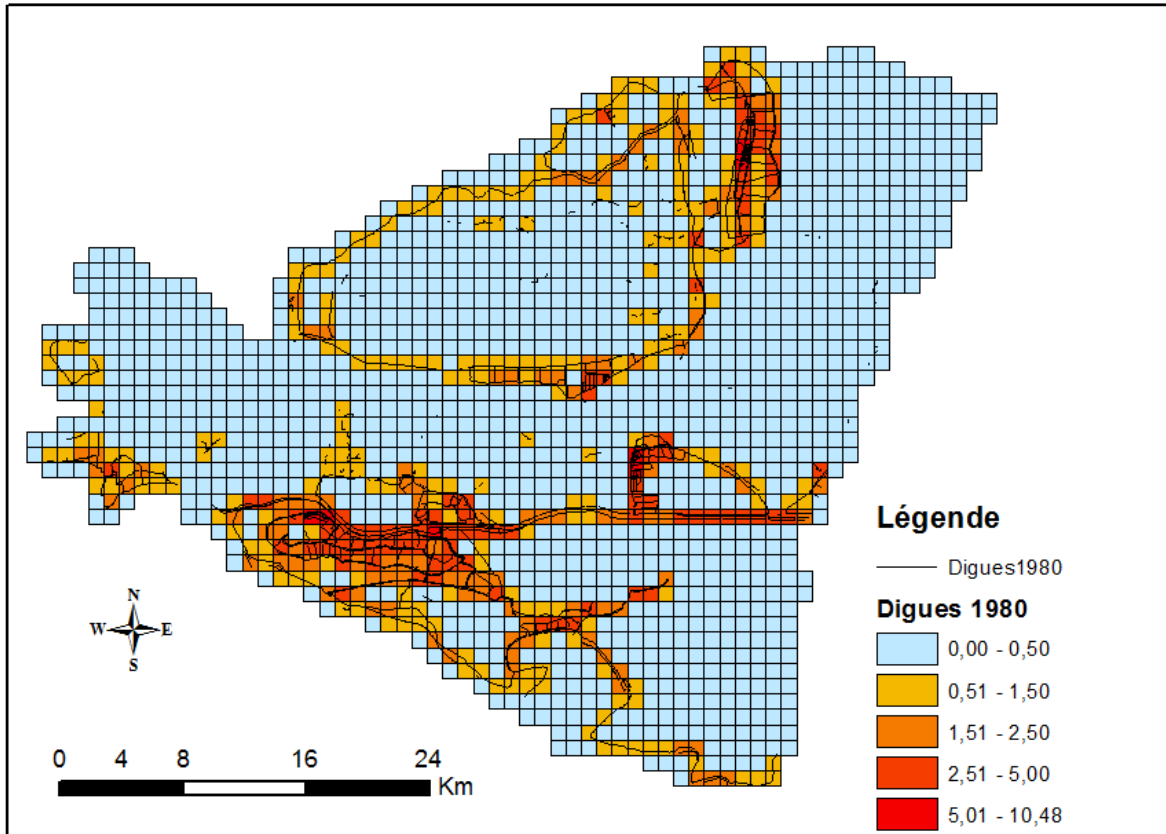


a. Digues 1960

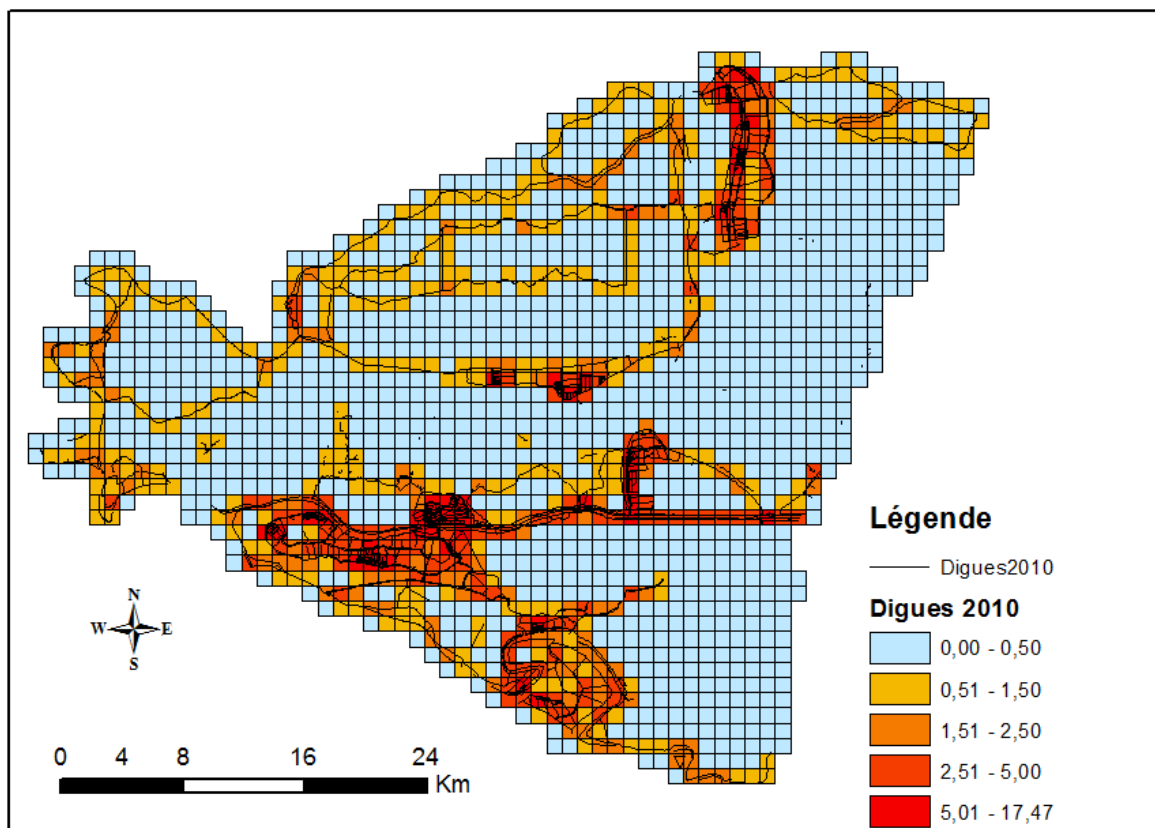


b. Digues 1970

Fig.13.22 L'évolution des digues 1960-2010



c. Digues1980



d. Digues2010

Fig.13.22 L'évolution des digues 1960-2010

En 1960, les digues sont présentées sur seulement 106 km², ce qui représente 6,2% de la surface du terrain d'étude. Elles sont localisées en très grande partie (Fig.13.20 a) autour de la région de Tataru, ainsi que sur les berges des bras du delta.

En 1970, 362 km² sont concernés par les digues, représentant 21,3% de la région d'étude. Leur localisation (Fig.13.20 b) se situe le long des bras Sulina et Sf. Gheorghe, ainsi qu'autour des régions de Pardina, Chilia, Obretin et Maliuc.

En 1980 le pourcentage des carrés contenant des digues monte à 33,1% avec 563 km². On constate une densification des digues dans les régions de Rusca, Obretin, Chilia, ainsi que l'apparition des digues dans la région de Papadia et près de l'apex du delta (Fig.13.20 c).

En 2010 les digues sont présentes sur 724 km², soit sur 42,6% de notre terrain d'étude. Des digues sont érigées dans des nouvelles régions (Fig.13.20 d) comme Sireasa, Babina, Cernovca, Sontea-Fortuna, ou le grand méandre du Bras Sf. Gheorghe, tandis que dans d'autres régions comme Pardina, Chilia, Obretin et Rusca on constate une hausse de la densité des digues.

13.3.3 Les lacs

La totalité des lacs couvrant le terrain d'étude a été vectorisée pour les quatre années de référence : 1960, 1970, 1980 et 2010. Cinq classes ont été choisies (Tableau 13.6) pour la classification des lacs : la classe « 0-0,1 » qui correspond au lacs très petits avec moins de 0,1 km² de surface ; la classe « 0,1-0,5 » comprenant les petits lacs ; la classe « 0,5-1,5 » pour les lacs de taille moyenne ; la classe « 1,5-3 » qui correspond au grands lacs ; et la classe « >3 » pour les très grands lacs avec une surface de plus de 3 km².

Suite à l'analyse comparative de nos années de référence on constate en 1980 une augmentation de 253 lacs par rapport à 1970, et en 2010 une baisse très importante de 430 lacs en se rapportant à 1980. Sur l'ensemble de la période 1960 – 2010 le nombre de lacs a diminué de 336 individus, soit une baisse de 34,4%. Au niveau de la surface totale des lacs entre 1960 et 1970 nous avons une croissance de 19,8 km², entre 1970 et 1980 une diminution de 31,3 km², et entre 1980 et 2010 encore une baisse de 15,1 km². De 1960 à 2010 la surface couverte par des lacs a diminué de 26,7 km², soit une baisse de 12,7%.

| Classes | 1960 | 1970 | 1980 | 2010 |
|-------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| 0 à 0,1 | 741 | 543 | 868 | 477 |
| 0,1 à 0,5 | 161 | 191 | 132 | 99 |
| 0,5 à 1,5 | 48 | 56 | 47 | 37 |
| 1,5 à 3 | 13 | 13 | 10 | 18 |
| >3 | 14 | 15 | 14 | 10 |
| Nr. lacs | 977 | 818 | 1071 | 641 |
| Total (km²) | 209,952 | 229,727 | 198,379 | 183,236 |

Tableau 13.6 Evolution du nombre des lacs par classes et par année (en km²)

Le nombre de lacs connaît des variations très importantes dans le temps. En 1960 il y a 977 lacs sur notre terrain d'étude, en 1970 le chiffre baisse de 159 lacs, en 1980 nous avons 1071 lacs pour arriver en 2010 à seulement 641. Le nombre de lacs moins important de 1970 par rapport à l'année de référence 1960 peut être expliqué par le changement d'échelle, les cartes topographiques de 1970 étant à 1 : 50 000, tandis que celles de 1960 sont à 1 : 25 000. Ainsi, un nombre important de très petits lacs, qui est d'ailleurs la seule classe qui présente une baisse avec 198 individus de moins, n'ont pas été cartographiés. Plus surprenante est l'évolution positive des autres classes, à l'exception de la catégorie qui comprend les grands lacs. Cette hausse peut être expliquée par une période plus riche en eaux au moment de la réalisation des photos aériennes utilisées pour l'actualisation des cartes topographiques.

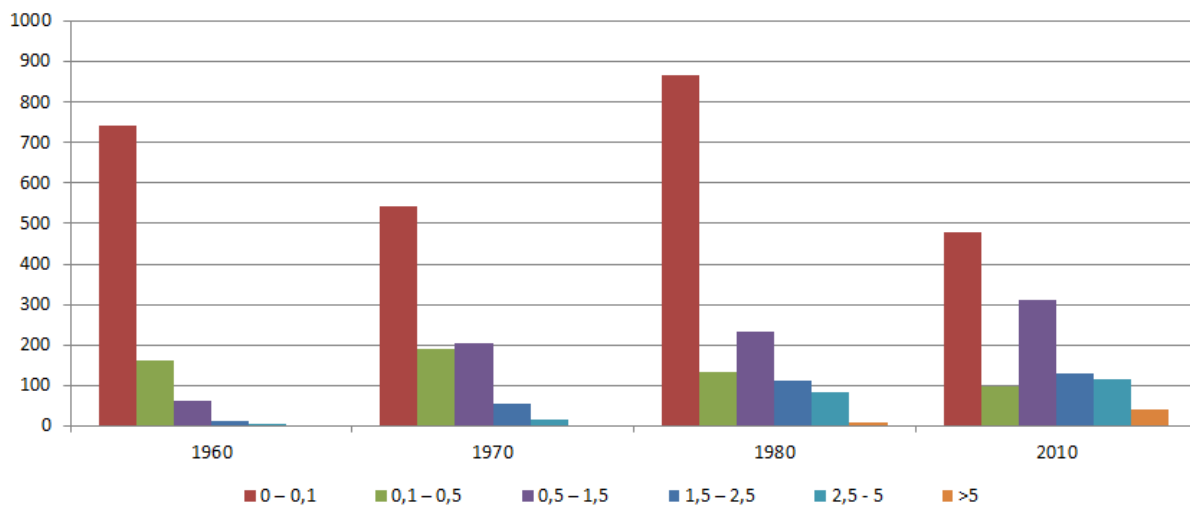


Fig.13.23 Evolution du nombre des lacs par classe 1960-2010

En 1980 le nombre de lacs augmente de 253 par rapport à 1970, et même par rapport à 1960 avec 94 individus. La seule classe qui enregistre une hausse par rapport aux deux dates antérieures est la catégorie de très petits lacs, les autres classes présentant des diminutions moins importantes.

L'année de référence 2010 nous dévoile un changement important avec une chute très importante du nombre des lacs. Quasiment toutes les classes ont enregistré une diminution du nombre des individus, à l'exception de la classe des grands lacs. Celle-là est une fausse hausse, car aucun nouveau lac naturel n'est apparu dans cet intervalle de temps sur notre terrain d'étude. Il s'agit plutôt d'une migration des lacs d'une catégorie à l'autre en fonction de leur représentation sur les cartes de dates différentes. Les lacs Babina (Fig.13.21) et Bogdaposte (Fig.13.22), qui sont des grands lacs de notre terrain d'étude, ont changé de classe à plusieurs reprises pendant l'intervalle de temps analysé.

D'autres causes qui peuvent provoquer la variation de la surface et de la forme des lacs d'une année à l'autre sont les îlots de végétation flottante nommés « plaur », ainsi que l'eutrophisation des eaux dans les lacs. Les îlots de végétation flottante qui se déplacent sur la surface des lacs peuvent changer complètement la physionomie et la forme des lacs. L'eutrophisation des eaux qui favorise l'installation de la végétation dans les lacs rend difficile à identifier avec précision les bords des lacs.

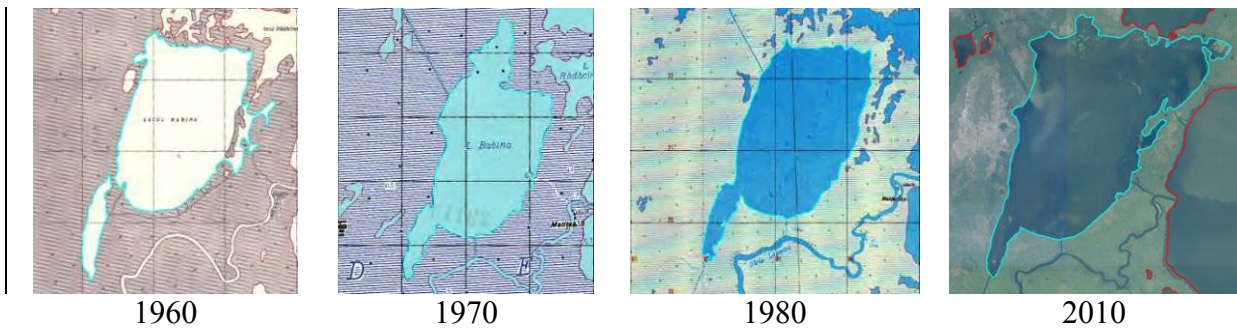


Fig.13.24 L'évolution du Lac Babina 1960-2010

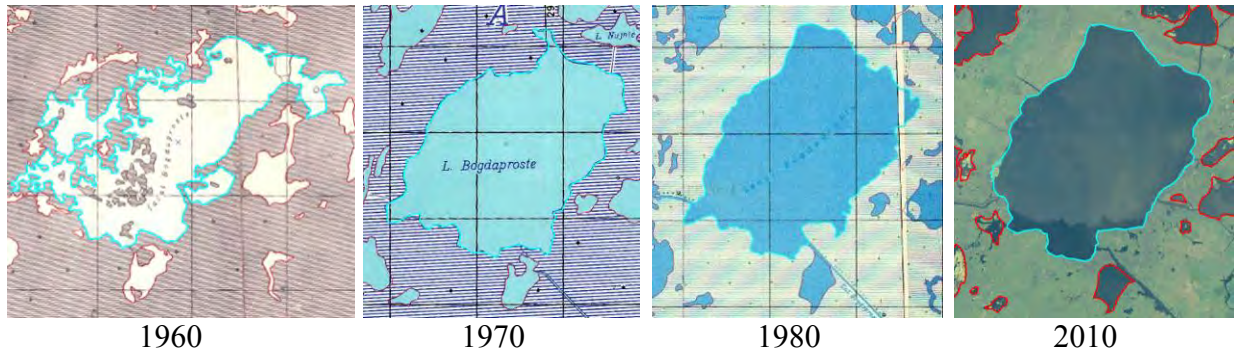


Fig.13.25 L'évolution du Lac Bogdaproste 1960-2010

Par exemple, trois lacs situés dans la région Matita-Merhei, que nous avons vectorisés pour l'année de référence 2010 comme deux lacs très petits et un lac dans la classe moyenne, ont beaucoup changé de configuration dans les derniers 13 ans (Fig.13.23). Les problèmes que nous avons rencontrés dans la vectorisation de ces lacs ont sûrement dû être les mêmes pour les cartographes de la DTM pour la réalisation des cartes topographiques publiées en 1970 et 1980, car nous savons que pour ces dates des images aériennes ont été utilisées.

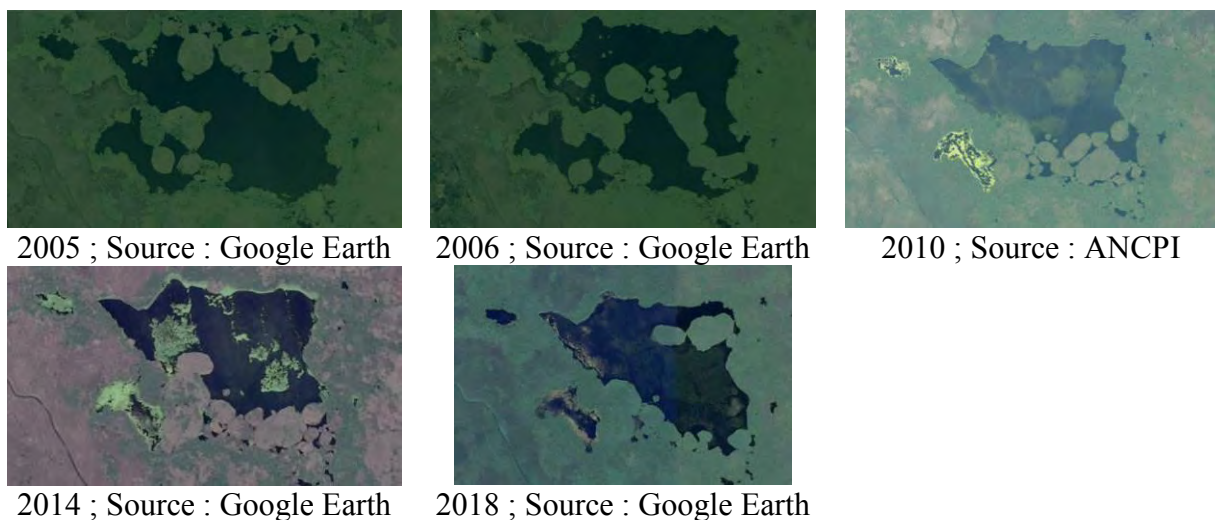


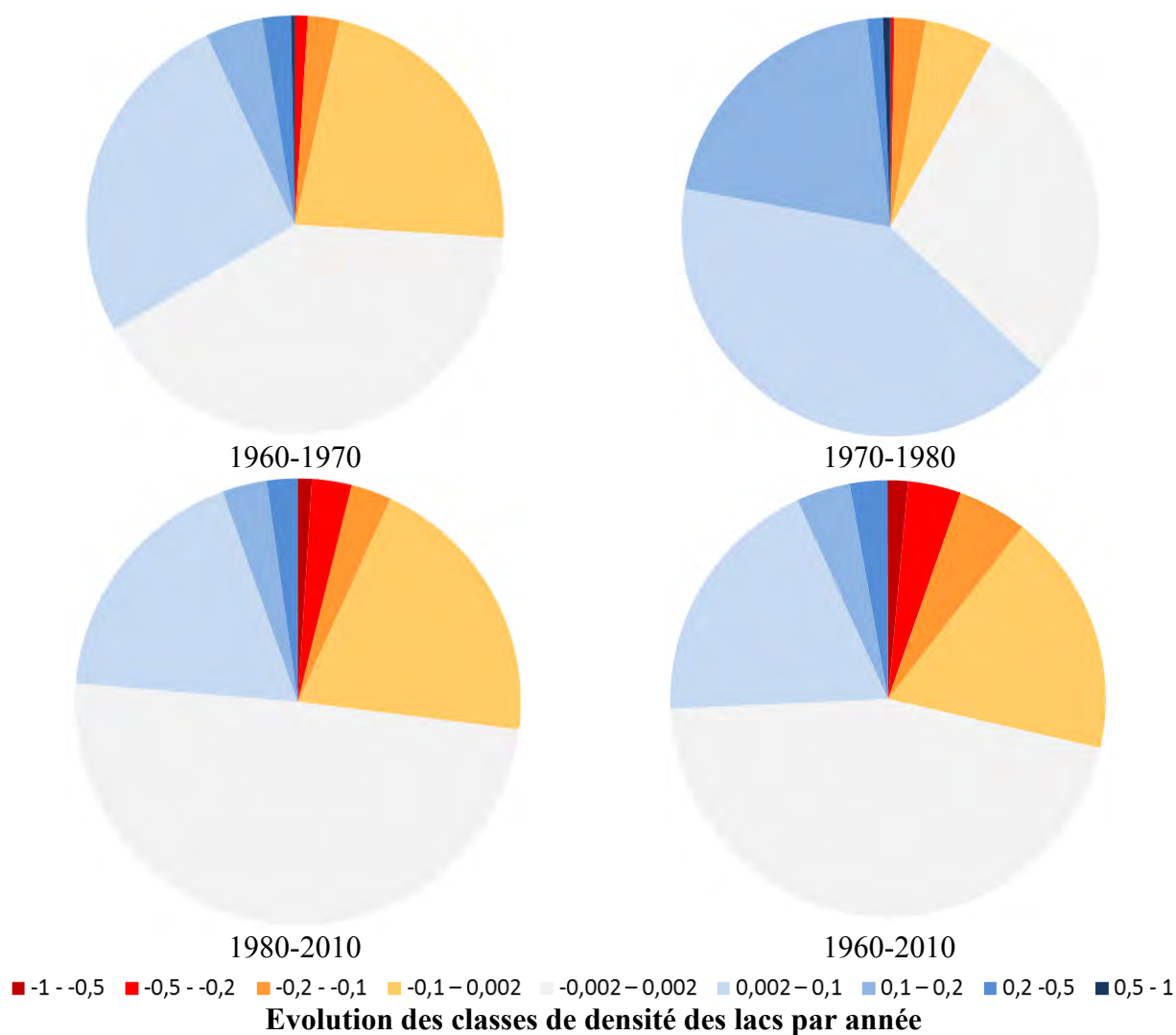
Fig.13.26 L'évolution des lacs dans l'intervalle 2005-2018

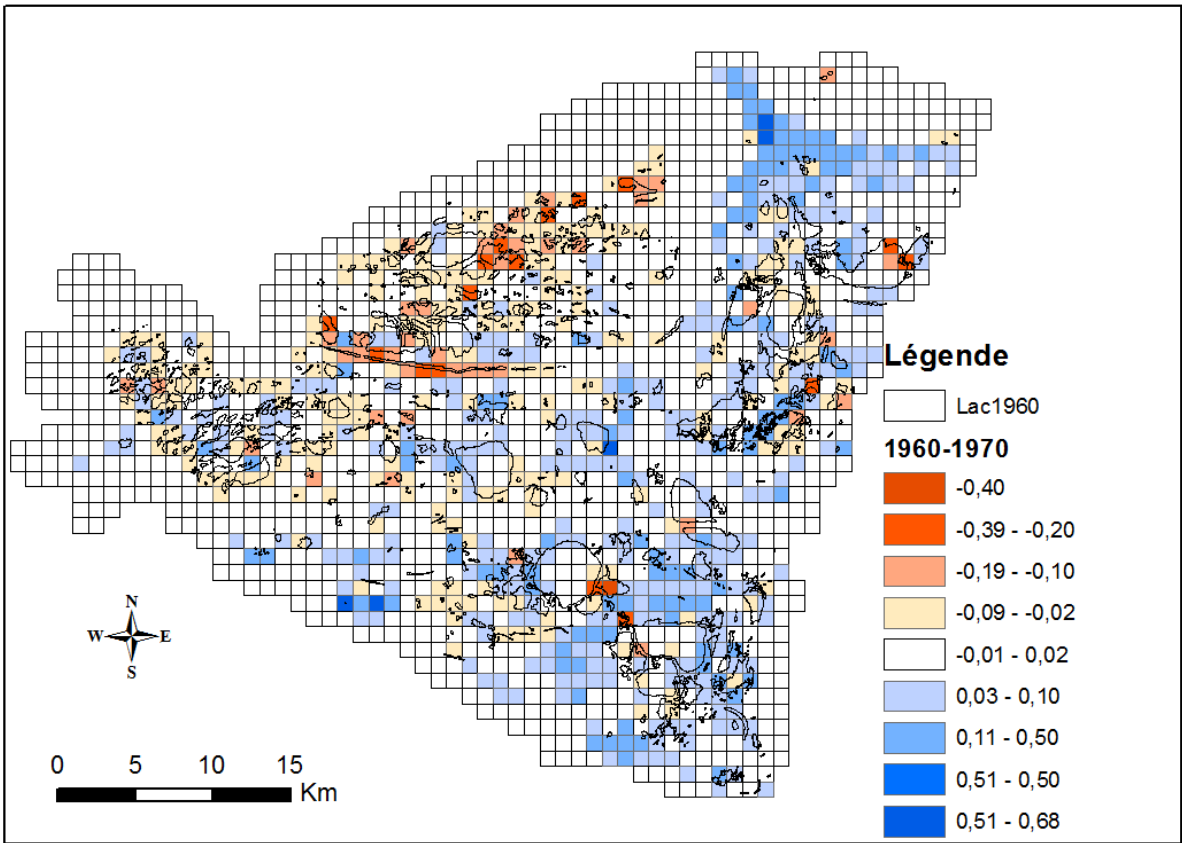
Pour mieux localiser et quantifier les changements dans les surfaces couvertes par des lacs sur notre terrain d'étude, le carroyage composé de 1699 carrés d'un km² chacun a été utilisé et quatre cartes ont été produites montrant les différences de 1960 à 1970, de 1970 à 1980, de 1980 à 2010 et de 1960 à 2010 (Fig.13.24).

Plusieurs classes ont été choisies pour la classification des surfaces couvertes par les eaux des lacs qui ont enregistré des pertes ou des gains pendant la période de temps analysée (Tableau 13.7).

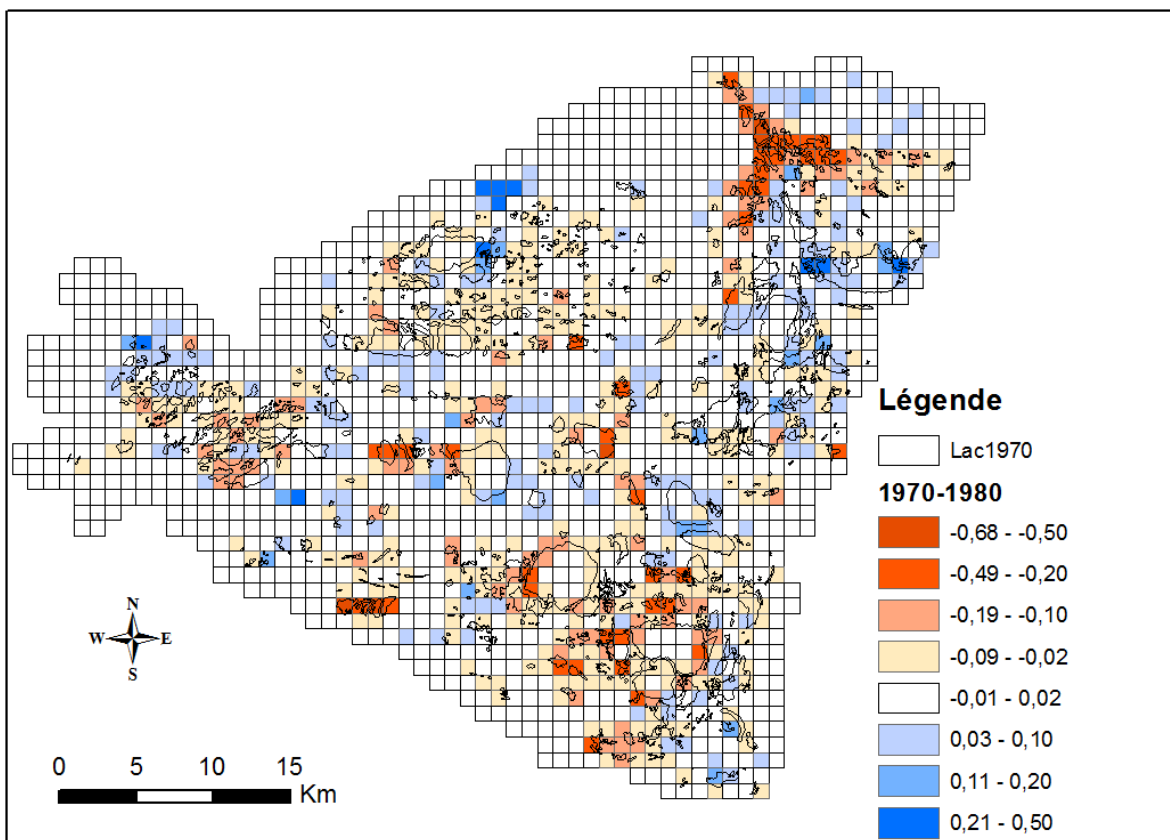
| Classes | 1960-1970 | 1970-1980 | 1980-2010 | 1960-2010 |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| -1 à -0,5 | 0 | 0 | 17 | 25 |
| -0,5 à -0,2 | 17 | 5 | 49 | 67 |
| -0,2 à -0,1 | 42 | 41 | 50 | 88 |
| -0,1 à 0,002 | 383 | 90 | 342 | 306 |
| -0,002 à 0,002 | 690 | 494 | 838 | 776 |
| 0,002 à 0,1 | 449 | 694 | 309 | 321 |
| 0,1 à 0,2 | 75 | 344 | 55 | 68 |
| 0,2 à 0,5 | 38 | 21 | 38 | 47 |
| 0,5 à 1 | 5 | 10 | 0 | 1 |

Tableau 13.7 Evolution des classes de densité des lacs par année



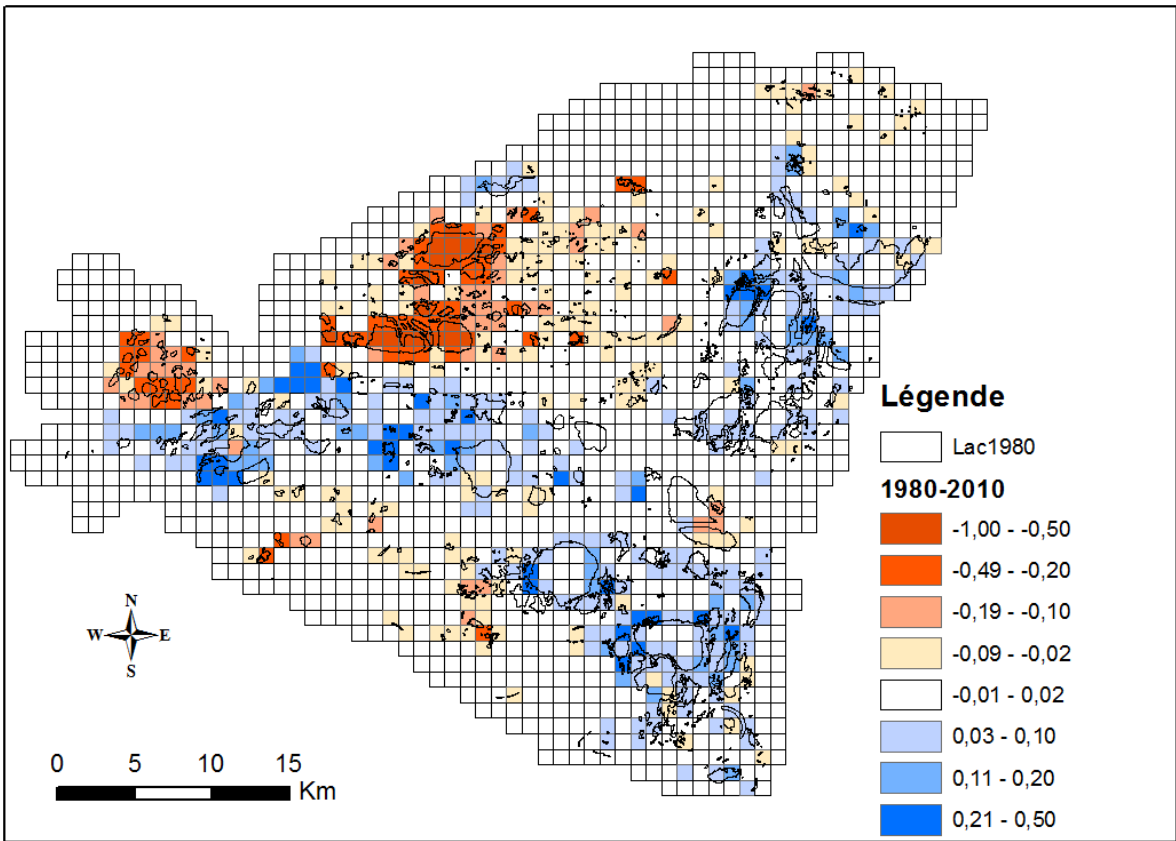


a.Evolution des lacs 1960-1970

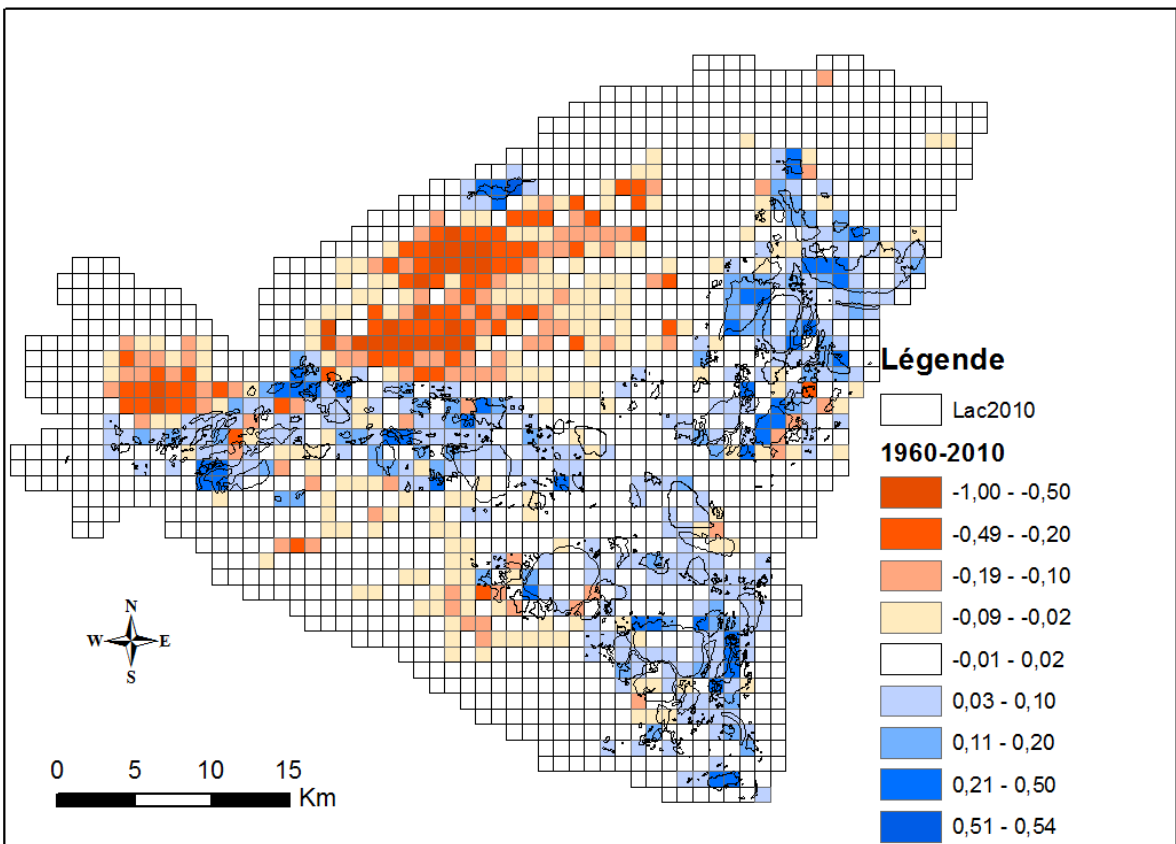


b.Evolution des lacs 1970-1980

Fig.13.27 L'évolution des surfaces couvertes par des lacs 1960-2010



c.Evolution des lacs 1980-2010



d.Evolution des lacs 1960-2010

Fig.13.27 L'évolution des surfaces couvertes par des lacs 1960-2010

Entre 1960 et 1970, la classe « -0,002 à 0,002 » qui comprend les zones où se sont produits peu ou pas de changements comprend 690 individus, soit 40,6%. 442 individus font partie des classes qui ont enregistré des pertes au niveau des surfaces couvertes par des lacs, tandis que 567 individus intègrent les classes montrant une augmentation.

De 1970 à 1980 seulement 494 individus font partie de la classe « neutre » de -0,002 à 0,002, soit 29%. Les classes enregistrant des pertes sont composées de 136 individus, et 1069 individus sont dans les classes qui montrent des hausses.

L'année 1970 semble être une date charnière au niveau des surfaces couvertes par des lacs. Il s'ajoute des lacs que l'on ne retrouve pas sur les autres cartes ou images ortho-photos. Ceci est très probablement lié à des travaux réalisés près d'une période de crue.

Pour l'intervalle de 1980 à 2010 la classe « -0,002 – 0,002 » a 838 individus, soit 49 % de la population. 458 km² sont touchés par une baisse de la surface des lacs, et 402 par une hausse.

En utilisant les années de référence 1960 et 2010, 776 km² semblent être peu ou pas touchés par des changements, soit 45,7% de notre surface d'étude. 486 km² ont subi des pertes, et 437 km² enregistrent apparemment des gains au niveau des surfaces couvertes par les lacs. Sur la carte qui nous montre l'évolution entre 1960 et 2010 (Fig.13.24 d), on identifie facilement les zones qui ont perdu des lacs : les régions de Pardina, Sireasa et Papadia, l'Île Letea, ainsi que la région Rusca dans l'Île Sf. Gheorghe.

Conclusion du chapitre 13

Le réseau des canaux a plus que doublé avec 1799 km de plus entre 1960 et 2010, passant de 1637 km à 3436 km. Les petits canaux avec une largeur maximale de 20 m enregistrent la croissance la plus importante avec 1437 km de plus. La longueur totale des grands canaux situés à l'intérieur du delta a augmenté de 359 km sur la même période, tandis que les trois grands bras du delta ont subi très peu de modifications.

Entre 1960 et 2010 un total de 1 336 km de digues ont été érigées. 435 km sont des grandes digues de contour, protégeant contre les grandes crues du Danube les zones aménagées en fermes agricoles, piscicoles ou pour les exploitations forestières, et encore 901 km de digues situées à l'intérieur de ces aménagements.

Au niveau des lacs les deux régions impactées sont Sireasa et Pardina, situées à l'est et au nord de notre terrain d'étude, régions qui ont été transformées en polders agricoles. Entre les deux zones 136 lacs ont disparu, des lacs classés dans toutes les catégories, des très petits avec moins de 0,1 km² de surface aux très grands avec plus de 3 km² de surface.

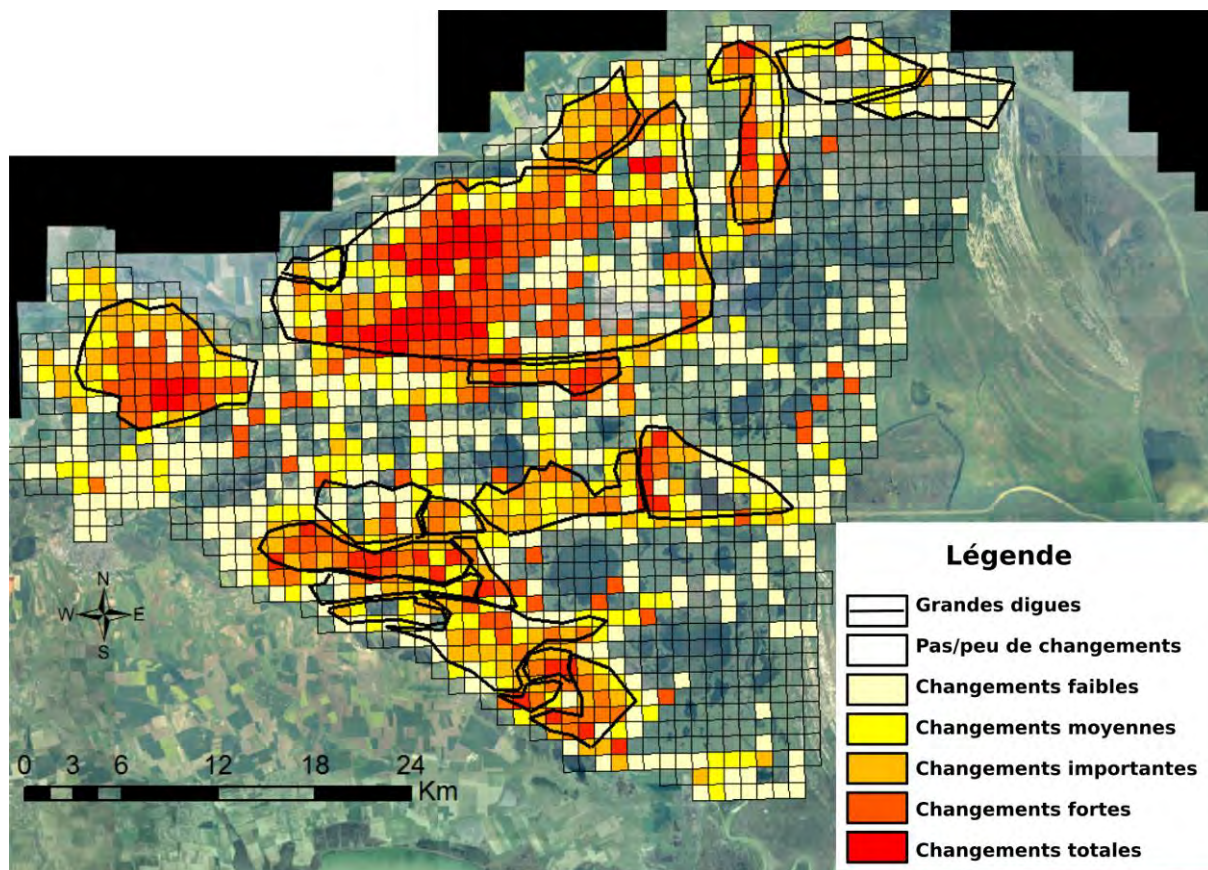


Fig.13.28 Transformation des canaux, digues et lacs dans le delta fluvial 1960-2010

Sur la carte présentée dans la figure 13.28 nous avons superposé les trois couches avec les transformations correspondant aux trois éléments analysés pour la période 1960-2010 : lacs, digues et canaux. En transparent nous avons les km² qui ont été très peu ou qui ne semblent pas avoir été modifiés de façon directe. Les nuances de jaune, orange et rouge indiquent l'augmentation du réseau des canaux et digues, ainsi que la disparition des lacs. Sur l'ensemble du territoire analysé plus de 1 000 km² enregistrent des changements suite aux aménagements, tandis que les régions qui ne semblent pas avoir été impactées de façon directe correspondent, pour une bonne partie, aux grands lacs.

Chapitre 14

L'aménagement intensif des plaines alluviales à partir des sources archivistiques après la Deuxième Guerre mondiale (1944-2020)

Les conférences de Maliuc en 1956 et 1958 marquent le début de grandes interventions à l'intérieur du delta du Danube. La période qui court de 1956 à 1990 est généralement divisée en 3 grandes étapes : les années 1960 quand les principales interventions sont centrées sur le roseau ; les années 1970 quand la préoccupation devient l'aménagement des fermes piscicoles ; et les années 1980 quand l'agriculture prend le dessus (Gastescu & Stiuca, 2008 ; Guttler, 2012).

Précédemment et suite à la première conférence de Maliuc de 1956 sont créées plusieurs entreprises qui s'occupent de la pêche, l'agriculture, les forêts ou le roseau. Au 1^{er} janvier 1956, conformément à une décision du Conseil des Ministres (HCM 2353/1955) est créée la société IEMS : entreprise d'exploitation mécanisée du roseau (SJANT, CDD, 1968-1969). D'autres décisions établissent que, à compter du 1^{er} novembre 1958, l'IEMS se transforme en Trust d'Aménagement et de Valorisation du Roseau (TAVS).

En 1970, en pleine époque communiste, est créée la Centrale « Delta du Danube » (CDD), organisme unique qui coordonne toutes les activités dans le delta. Le but de la création de la CDD était l'exploitation des ressources naturelles du delta du Danube. Parmi les activités de la CDD figurent l'exploitation du roseau pour fabriquer de la pâte à papier, la production de poisson et l'industrialisation du poisson, l'agriculture et la foresterie. Pour développer cette activité dans le cadre de la CDD, un Institut de Recherche et Projets a été fondé à Tulcea, la même année.

14.1 L'exploitation du roseau

En fonction de la qualité et la quantité du roseau le territoire du delta est subdivisé dans des US (Unitati stuficole - unités d'exploitation du roseau) avec une surface jusqu'à 10 000 ha et MUS (Mari Unitati Stuficole - grandes unités d'exploitation du roseau) avec une surface entre 10 000 et 30 000, avec un total de 155 000ha (Rudescu et al, 1965) (Fig.14.1).

Les grandes rides du delta, Letea, Caraorman, Saraturile et Chilia sont considérées comme des unités non-exploitable (en rouge sur la carte) tandis que d'autres surfaces (en orange sur la carte), avec une faible quantité et qualité de roseau, sont des unités de faible exploitation du roseau.

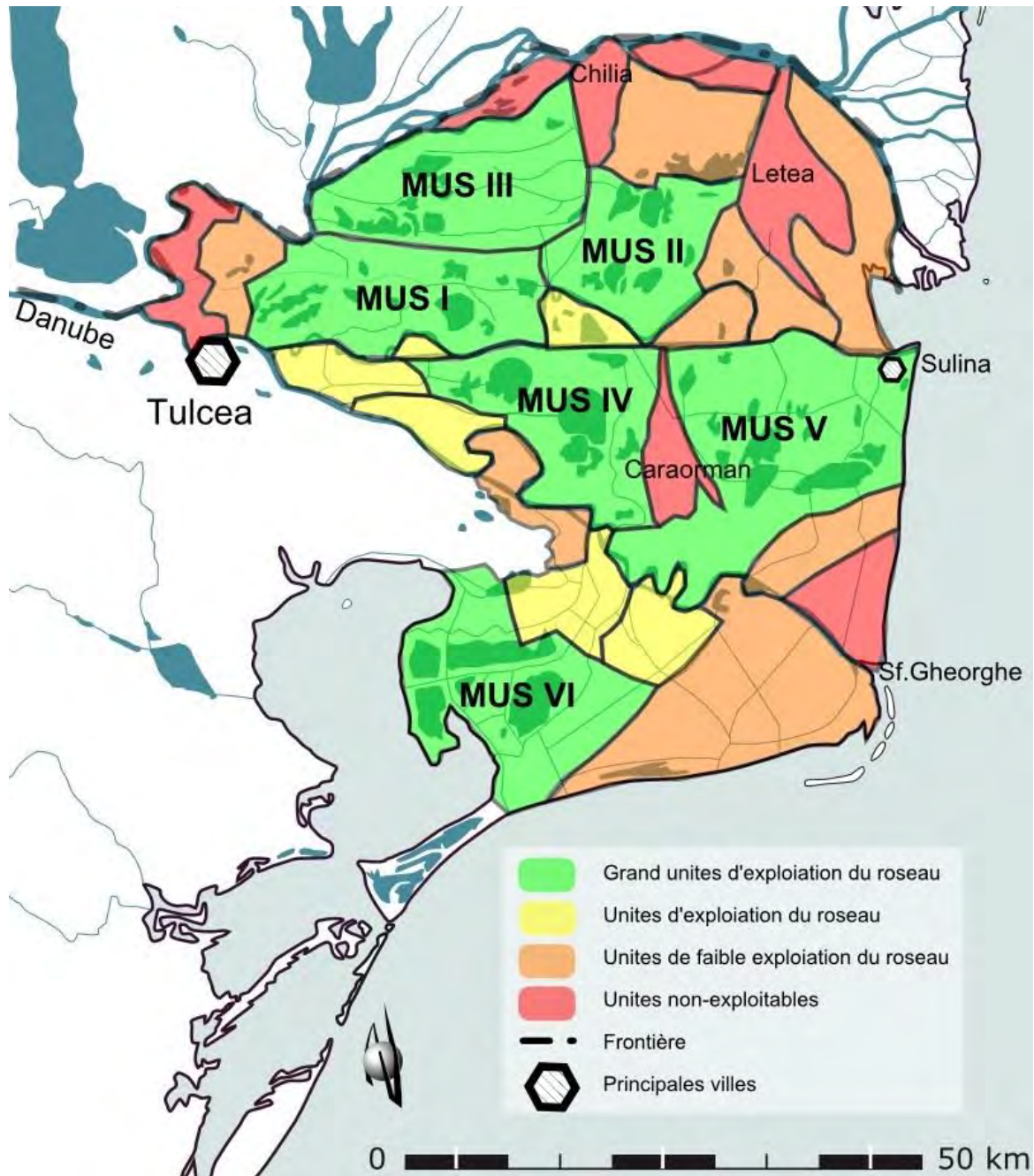


Fig.14.1 Les zones d'exploitation du roseau dans le delta du Danube
 Modifié d'après Rudescu et al, 1965

On associe à l'exploitation du roseau le creusement d'un nombre très important de canaux (Fig.14.2 a) pour faciliter l'accès des bateaux à la plupart des régions du delta pour transporter le roseau, ainsi que la construction de plateformes (Fig.14.2 b) pour le stocker dans l'attente du transport, mais également la construction de digues insubmersibles.



a. Creusement des canaux



b. Plateformes pour stocker le roseau

Fig.14.2 Aménagements pour l'exploitation du roseau

Source : Motoc, 2016

A partir de 1960 de grandes surfaces sont entourées de digues pour pouvoir contrôler le niveau de l'eau au moment de la « récolte » du roseau avec des outillages lourds comme des tracteurs sur chenilles (Fig.14.3), pendant la période d'hiver quand le niveau des eaux du Danube est bas.

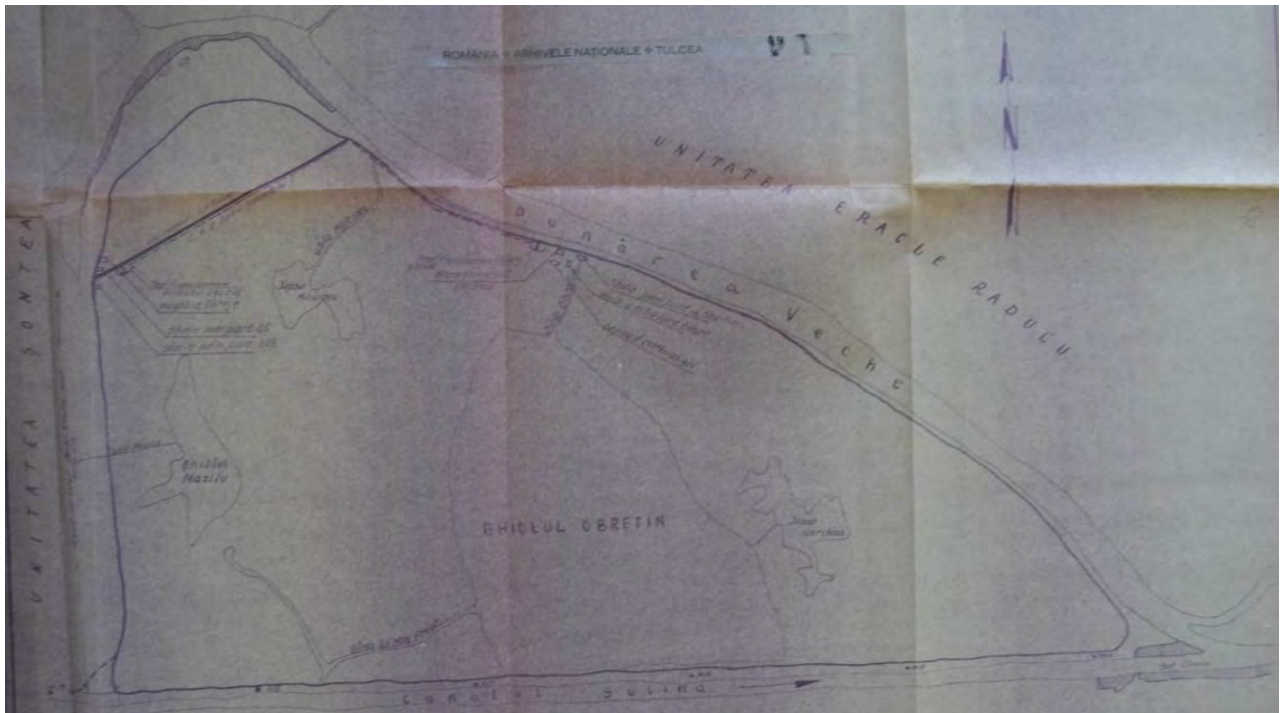


Fig.14.3 La récolte du roseau avec des outillages lourds sur chenilles

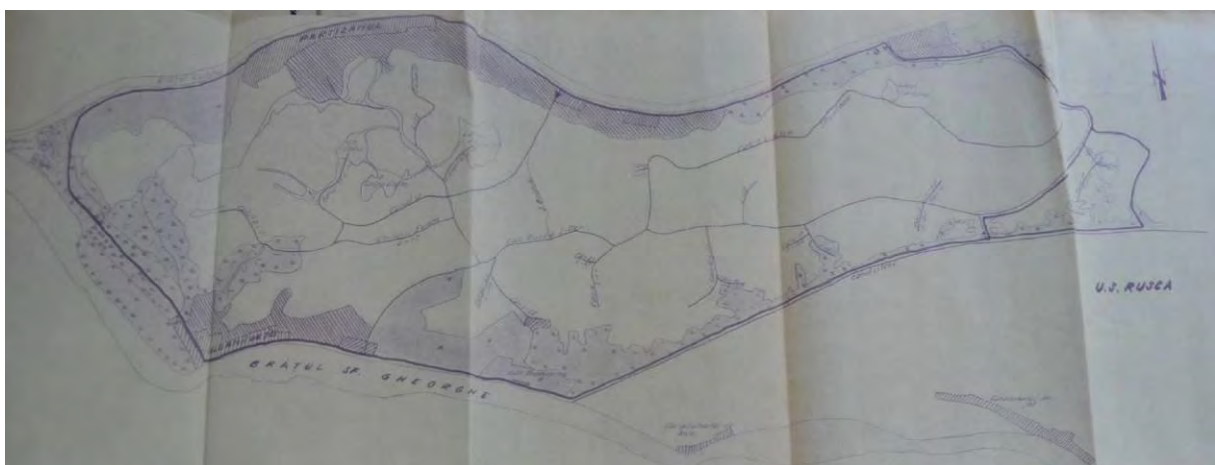
Source : Marin et al., 1958

Des expérimentations ont été réalisées dans des régions ceintes de digues comme US Rusca (Fig.14.4 b), US Maliuc (Fig.14.5 a), US Obretin (Fig.14.4 a) (SJANT, IPT, 75/1962). Un peu plus tard la région de Pardina (Fig.14.5 b) est aussi complètement cernée par des digues. Le projet était de réaliser des digues insubmersibles pour pouvoir maîtriser

complètement la circulation des eaux dans les régions choisies pour l'exploitation du roseau en régime mécanisé (Rudescu et al, 1965).



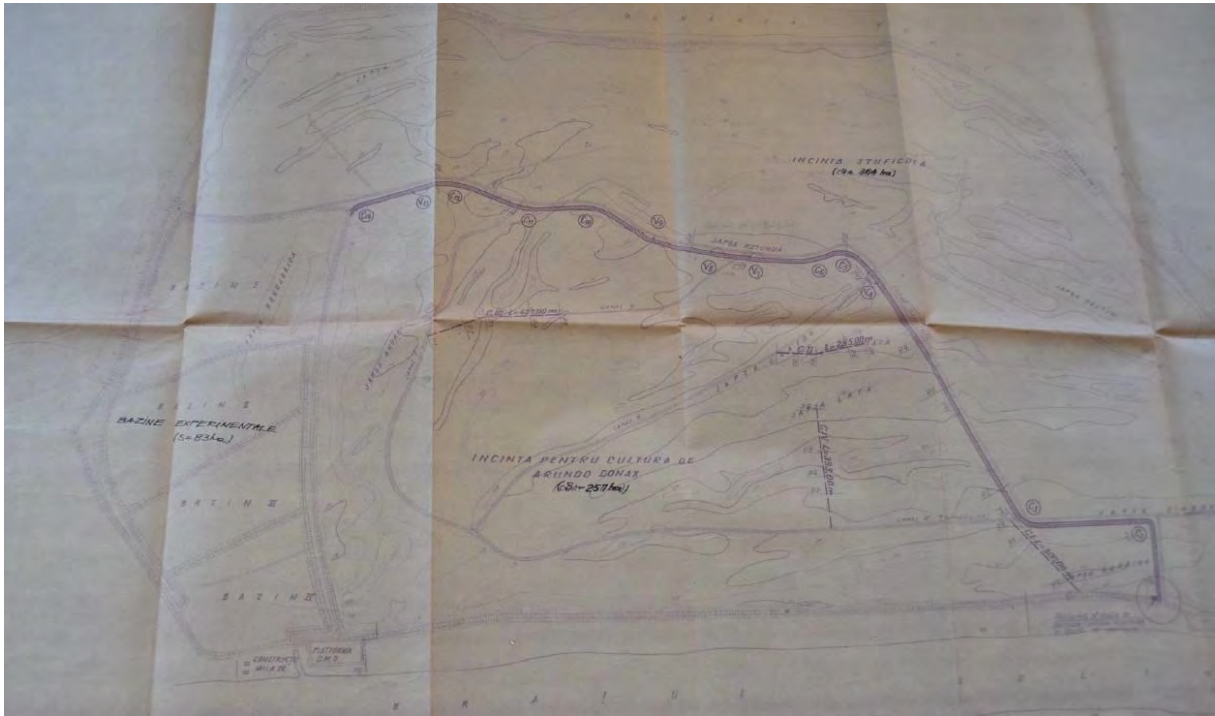
a. U.S. Obretin, 1961



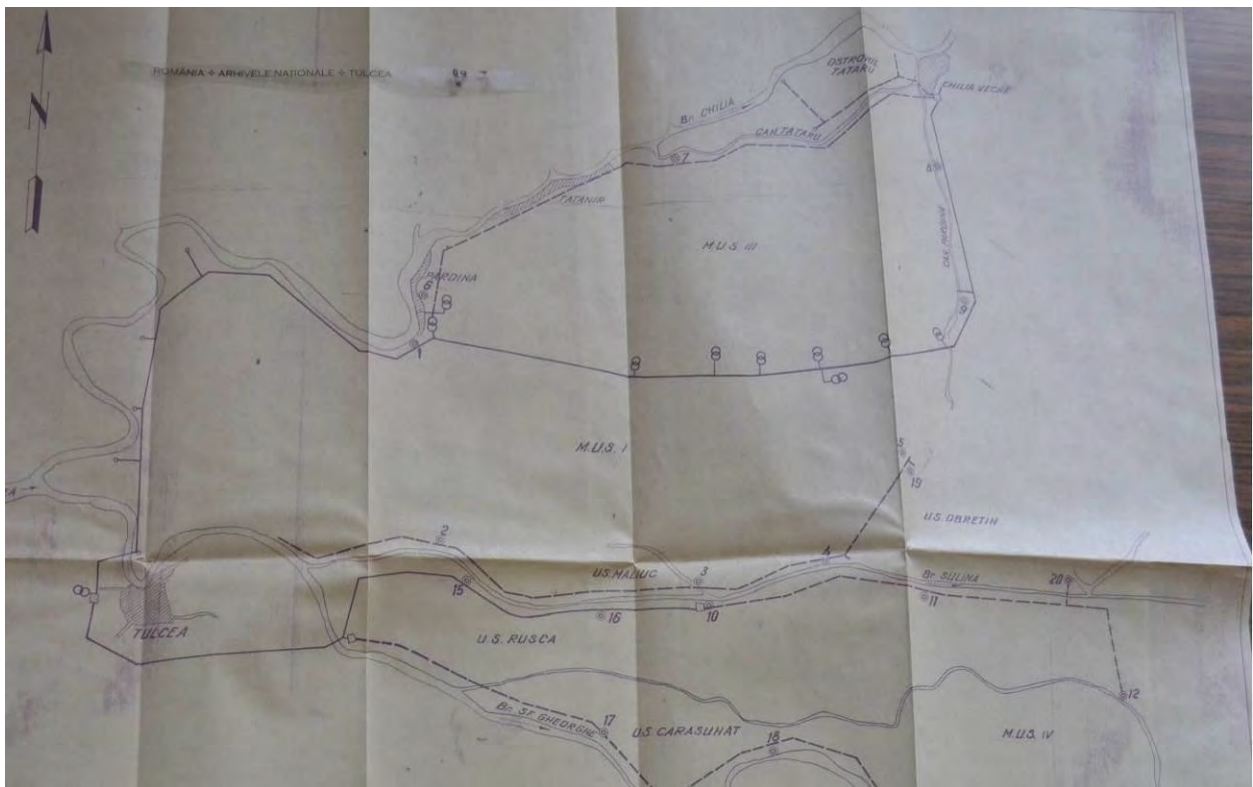
b. U.S. Rusca, 1962

Fig.14.4 Les régions endiguées pour l'exploitation du roseau
Sources : SJANT

La région de Maliuc a été transformée en base de recherche pour le roseau. Ici ont été menées des expérimentations concernant l'introduction des nouvelles espèces de roseau dans le delta, notamment une espèce d'origine italienne, *Arundo Donax* (SJANT, CDD, 301/1969).



a. U.S. Maliuc, 1969



b. M.U.S. Pardina et U.S. Rusca, 1970

Fig.14.5 Les régions endiguées pour l'exploitation du roseau
Sources : SJANT

Si, au début, pour la récolte mécanisée du roseau ont été utilisés des engins lourds à chenilles, qui détruisaient les rhizomes et compromettaient les récoltes des années suivantes, plus tard la technologie a évolué. Après un départ foudroyant (Fig.14.6), la quantité totale du

roseau récolté, ne dépassera jamais les 250 000 tonnes annuelles, chiffre loin de celui attendu, d'environ 2 million de tonnes (Rudescu et al., 1965).

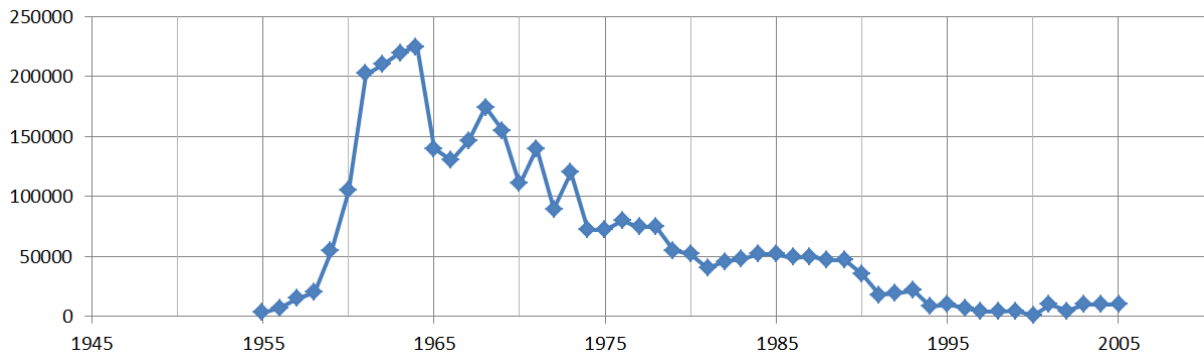


Fig.14.6 L'évolution de la quantité de roseau récolté dans le delta 1955-2005 (en tonnes)
Source des données : Gastescu&Stiuca, 2008

Même après différentes expérimentations comme l'utilisation d'engins à pneus à basse pression (Fig.14.7) et l'utilisation d'hélicoptères pour la coupe et le transport du roseau (Motoc, 2016), rien n'a pu empêcher la production de s'effondrer petit à petit (Fig.14.6).



Fig.14.7 Engins équipés de grands pneus à basse pression pour l'exploitation du roseau
Source : Motoc, 2016

Selon les informations obtenues auprès du Conseil Départemental de Tulcea, encore de nos jours le roseau est récolté de façon marginale comme c'est le cas dans l'A.P. Obretin (Fig.14.8).



a. Récolte du roseau dans l'A.P. Obretin



b. Engins pour l'exploitation du roseau

Fig.14.8 L'exploitation du roseau dans l'A.P. Obretin

Source photos : CJT, 2009

Il faut aussi noter que, suite à la création de la Réserve de la Biosphère delta du Danube, la récolte du roseau n'est autorisée aujourd'hui que dans les anciens aménagements et est interdite en dehors. Ceci est valable même pour l'utilisation usuelle par les habitants du delta, comme autrefois, pour le chauffage ou pour la construction des clôtures et des maisons (Fig.14.9).



Fig.14.9 Maisons en roseau village Mila23

Photos : P. Valette, 2015

14.2 Les fermes piscicoles

Après l'endiguement d'importantes surfaces dans le delta, destinées au début à l'exploitation du roseau, on constate une baisse de la production du poisson à l'intérieur et aussi à l'extérieur, car les régions endiguées constituaient auparavant des zones de reproduction du poisson, exclues donc du circuit naturel (SJANT, IPT, 75/1962 ; SJANT, IPT, 129/1966-1970). Suite à ce constat sont délimitées des zones expérimentales mixtes roseau-poisson endiguées où l'on essaye la culture du poisson en parallèle des activités spécifiques au roseau, pour obtenir des productions de poissons plus importantes que dans les zones « naturelles ». Les productions de poisson attendues dans ces zones sont de 100 kg/ha (SJANT, IPT, 75/1962). Les premières expérimentations pour la création des fermes

piscicoles sont menées à Maliuc. Les recherches conduites sur l'élevage de la carpe dans les plantations aménagées pour le roseau ont débuté en 1960 dans la parcelle 4 de Maliuc, et en 1961, dans les trois autres (Fig.14.10).

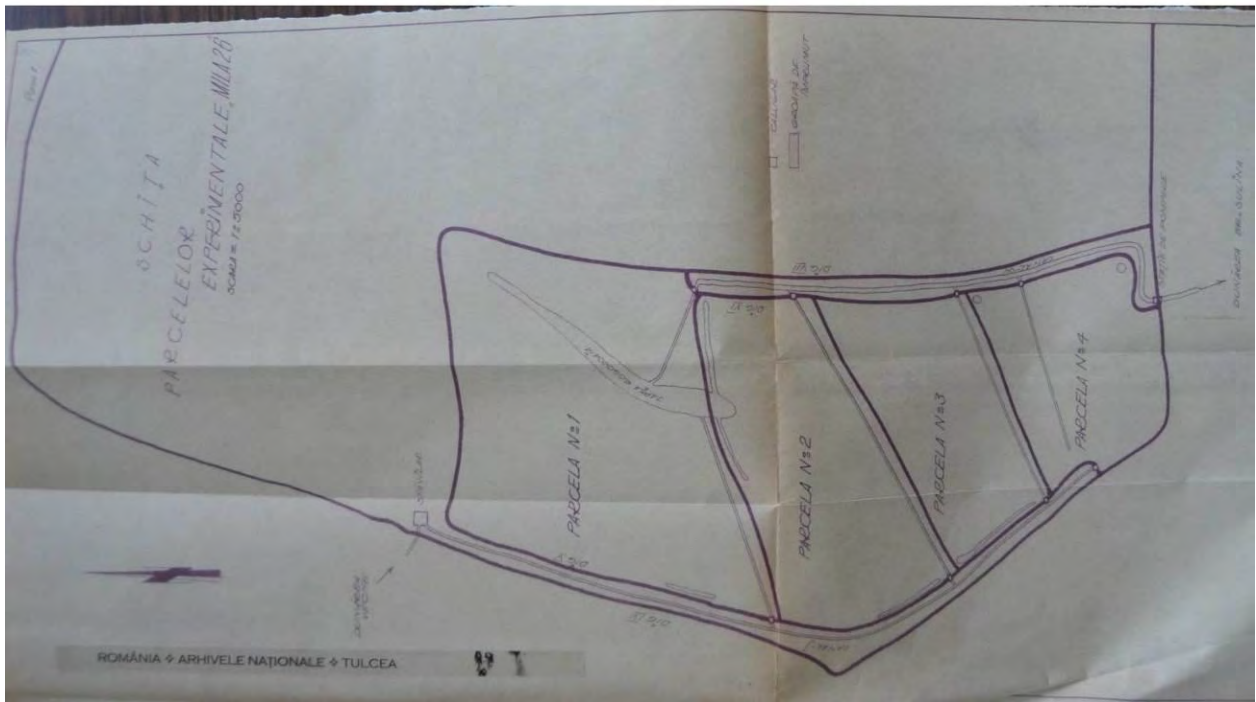


Fig.14.10 Plan des digues et bassins à Maliuc, 1962

Source : SJANT

L'activité de recherche mixte roseau-piscicole qui était conduite dans les 4 bassins de Maliuc impliquait pour le roseau l'assèchement des 4 bassins durant l'automne, la récolte du roseau durant l'hiver et l'incinération des restes végétaux pour le nettoyage. Les bassins étaient remis en eau au printemps, durant la période des hautes eaux du Danube.

Les expérimentations piscicoles consistaient en l'introduction de petites carpes dans les bassins. Ces espèces sélectionnées, entraient en concurrence avec leurs prédateurs, les brochets et les cormorans. La pêche systématique avait recours à des techniques de pêche radicale : utilisation de la pêche électrique (Fig.14.11) à l'automne, après vidange des bassins.



Fig.14.11 Pêche au courant électrique, Maliuc, 1962

Source : SJANT

Les résultats de ces expérimentations sont mitigés, car les deux activités ne sont pas compatibles sur les mêmes surfaces. Après ce constat, la politique change et des fermes piscicoles sont créées pour produire des poissons et repeupler les régions avoisinantes, affectées par la baisse de la production de poisson (SJANT, IPT, 85/1963 ; SJANT, IPT, 96/1964).

La création du premier aménagement piscicole dans le delta du Danube a été commencée en 1961, près du Lac Razim, avec la création de la ferme piscicole Carinasuf sur une surface de 512 ha. Toujours dans la même région, au sud du delta et dans le même but, pour repeupler le Lac Razim, une nouvelle ferme piscicole d'une surface de 1 600 ha est réalisée sur le Lac Calica en 1963. En 1962 est lancé l'aménagement piscicole Obretin I (Fig.14.12) sur une surface de 120 ha et en 1967 l'aménagement Stipoc (Fig.14.13) d'une surface de 1 344 ha. L'objectif initial des A. P. Stipoc et Obretin I était l'augmentation de la production de poisson dans les deux Grandes Unités d'Exploitation du roseau voisines : MUS I Sontea au sud et MUS III Pardina au nord, d'une surface totale de 43 000 ha, par repopulation avec le poisson produit dans cette ferme piscicole. En 1965 a commencé l'aménagement d'une nouvelle ferme piscicole Perisor-Lejai, située au sud du Bras Sf. Gheorghe, pour alimenter en poisson l'île de Dranov. (SJANT, IPP, 129/1965-1970).

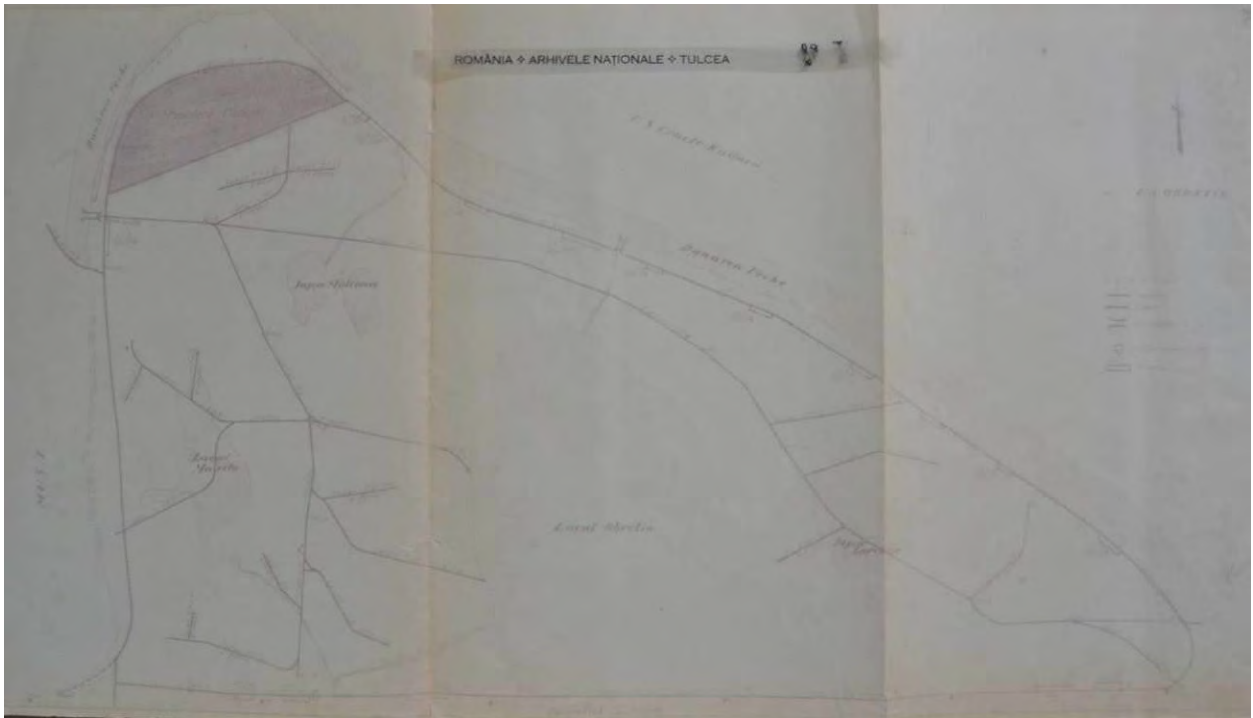


Fig.14.12 US Obretin, 1962
Source : SJANT

L'A.P. Obretin I (Fig.14.12) est située entre le bras de Sulina (mille 14-mille 19) et l'ancien bras Sulina, dénommé « le bras Mila 23 » (surface : 3 300 ha). Une pépinière d'une surface de 125 ha se situait au nord de l'unité, à proximité du village de Mila 23. Elle comporte un bassin d'élevage des poissons de 105 ha et 3 bassins de pré-développement de 20 ha. Cette unité a été entourée de digues à partir de 1961.

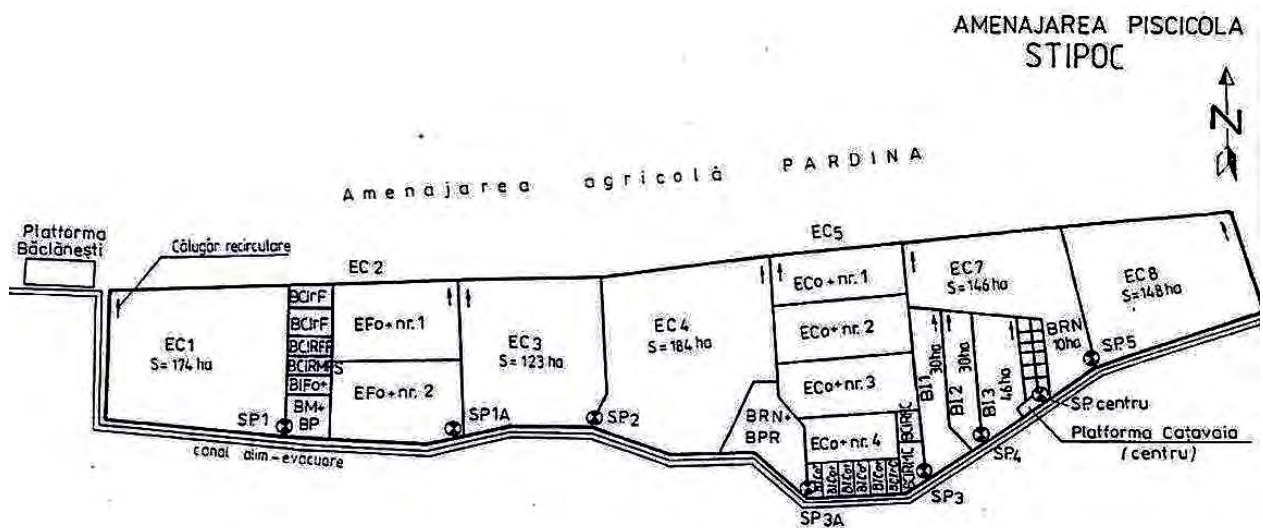


Fig.14.13 Plan de l'aménagement piscicole Stipoc
Source : CJT

L'unité Rusca, située dans l'île Sfântu Gheorghe du delta, s'étend au nord le long du bras de Sulina (du mille 33 au mille 25) et au sud, du Bras Sfântu Gheorghe au canal Litcov (Fig.14.14). L'ensemble représente une surface de 4420 ha. Une portion non estimée de cette unité était dédiée à l'agriculture.



Fig.14.14 US Rusca, 1962
Source : SJANT

L'aménagement piscicole Rusca (Fig.14.14) a été inauguré en 1968, avec une surface de 2 610 ha dans l'ancienne unité mixte de recherche roseau-poisson. Jusqu'en 1991, 6 fermes piscicoles ont composé cet aménagement avec des bassins dont la surface varie entre 10 ha et 268 ha.



Fig.14.15 Plan de l'aménagement piscicole Rusca
Source : CJT

Si dans les unités mixtes de recherche roseau-poisson les poissons s'alimentent de façon naturelle, dans les fermes piscicoles les poissons sont nourris avec des céréales, et les attentes pour la production du poisson montent à 300 kg/ha (SJANT, IPT, 96/1964). Après les premières expériences assez réussies, on passe à une deuxième phase de construction des aménagements piscicoles, avec des bassins plus petits, pour mieux maîtriser les populations de poissons, avec de nouvelles attentes en ce qui concerne la production de poissons, chiffrés à 500-1 000 kg/ha, voire 1 450-1 500 kg/ha (SJANT, IPT, 129/1966-1970).

Les espèces de poisson choisies pour les fermes piscicoles sont des espèces phytophages, la carpe en particulier (SJANT, IPT, 75/1962). Au début les poissons des fermes piscicoles ont été pêchés dans le delta (SJANT, IPT, 75/1962; SJANT, IPT, 96/1964), mais pour assurer les quantités nécessaires dans les fermes, des alevins du carpe « de culture » en provenance d'Ovidiu (département de Constanta) ont été amenés (SJANT, CDD, 30/1964 ; SJANT, IPT, 96/1964). Progressivement, les fermes du delta ont commencé à produire elles-mêmes les quantités d'alevins nécessaires. Des espèces de carpes en provenance d'Asie (*Ctenopharyngodon idella*, *Hypophthalmichthys molitrix* si *Aristichthys nobilis*) ou nord-américaines (*Ictiobus Cyprinellus*) sont introduites dans les fermes à partir des années 1970, et s'échapperont aussi en dehors des endiguements (Otel et al., 1993).

En même temps on commence à planifier une partie de la production destinée directement au marché et une partie qui reste encore pour le repeuplement des zones du delta affectées par la baisse des populations de poissons (SJANT, IPT, 96/1964, SJANT, IPT, 29/1966-1970). Les productions estimées ont été parfois trop optimistes. Un exemple nous montre qu'une ferme piscicole projetée pour une production de 1446 tonnes ne produisait finalement qu'environ 19%, soit 277 tonnes annuelles (AICPPDD, 1289/1990). On ignore la quantité de poissons qui était finalement utilisée pour le repeuplement du delta, mais, comme la quantité de poissons qui partait directement sur le marché était plus rigoureusement contrôlée, il est à supposer que le système essayait de cacher les pertes de production sur les poissons destinés au repeuplement.

Les années 1970 correspondent à la période des grands aménagements piscicoles dans le delta, après la création de l'Institut de recherche et développement du delta du Danube à Tulcea en 1970. Avant cette création, les projets d'aménagement piscicole ont été réalisés à Bucarest par l'Institut de recherche et aménagements piscicoles (SJANT, IPT, 85/1963; SJANT, CDD, 30/1964). A partir de ce moment c'est l'Institut de Tulcea qui réalise les projets d'aménagement piscicole (AICPPDD, 129/1971; AICPPDD, 171/1972; AICPPDD, 171/1972; AICPPDD, 468/1976; AICPPDD, 1228/1985; AICPPDD, 1258/1987). Ainsi sont projetés et réalisés les aménagements piscicoles suivants : Carasuhat, Ceamurlia, Chilia, Dranov, Enisala, Independenta, Litcov, Lunca, Maliuc, 6 Martie, Sarica-Ceamurlia, Tauc, Topraihioi, situés partout dans le delta et autour du Lac Razim. C'est également l'Institut qui s'occupe des modernisations des aménagements piscicoles réalisés auparavant (AICPPDD, 1253/1987; AICPPDD, 1198/1988; AICPPDD, 1298/1990) comme Obretin II (Fig.14.16), Perisor ou Sarinasuf. Le but de ces modernisations était d'accroître la production, par exemple dans le cas d'AP Obretin, de passer d'une production de 272 kg/ha à une production de 1000 kg/ha (AICPPDD, 1253/1987).

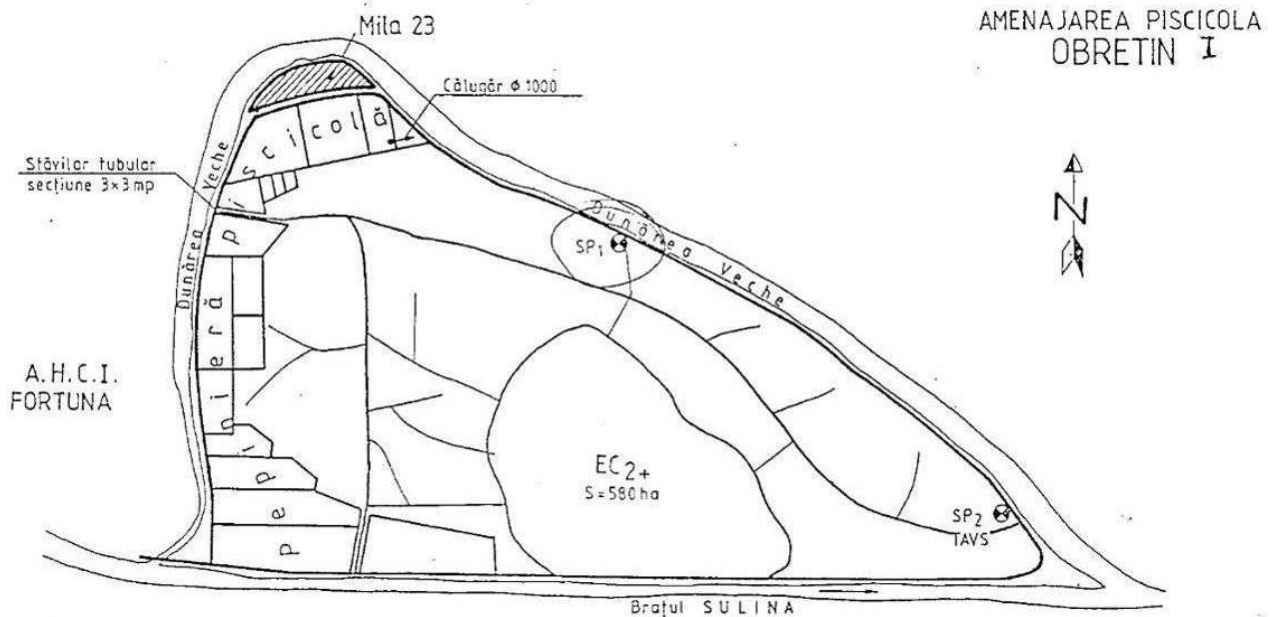


Fig.14.16 Plan de l'aménagement piscicole Obretin II
Source : CJT

Plus tard, dans les années 1980, suite à l'abandon des projets de recherche concernant le roseau, la région expérimentale de Maliuc est transformée en une ferme piscicole (Fig.14.17).

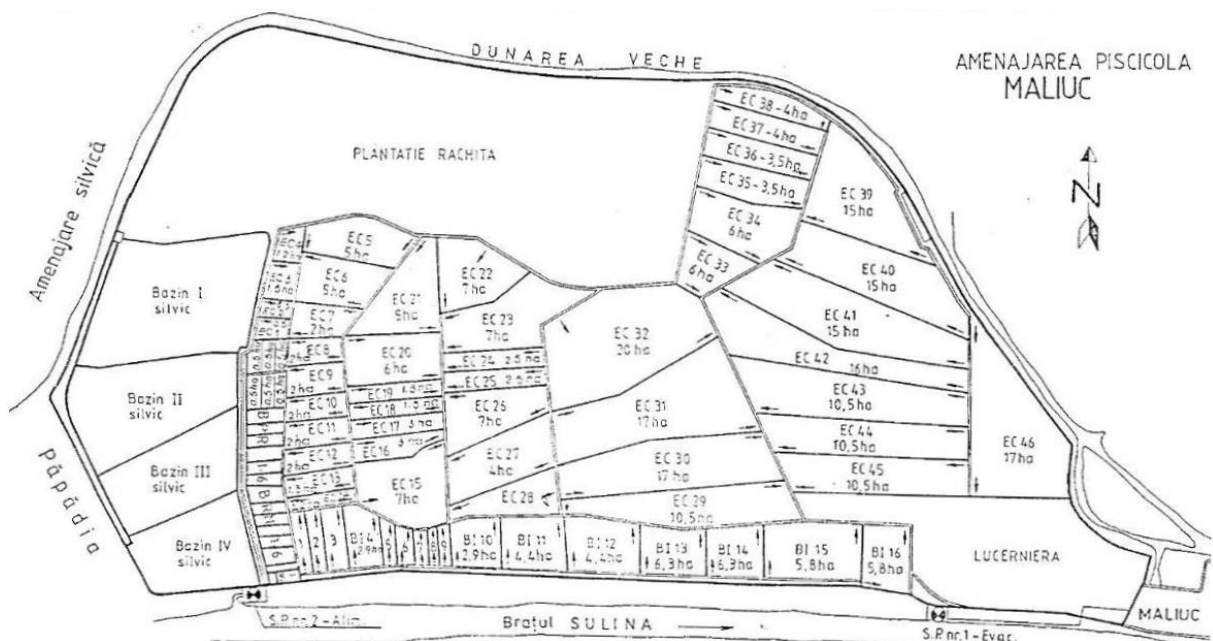


Fig.14.17 Plan de l'aménagement piscicole Maliuc
Source : CJT

Les anciens bassins I, II, III et IV, utilisés dans le passé pour les expérimentations de création des fermes piscicoles, sont marqués comme étant destinés aux exploitations silvicoles, et la partie de nord de l'endiguement est cultivée avec de l'osier.

14.3 Les fermes agricoles

Le premier aménagement agricole dans le delta du Danube date de la fin du XIXème siècle. Localisé dans l'île de Sf. Gheorghe et situé dans un méandre du Bras Sf. Gheorghe, l'endiguement connu sous le nom de « Gradina Olandezului » (Jardin du néerlandais) est aujourd'hui transformé en ferme piscicole, avec une surface de 265 ha (Fig.14.18).

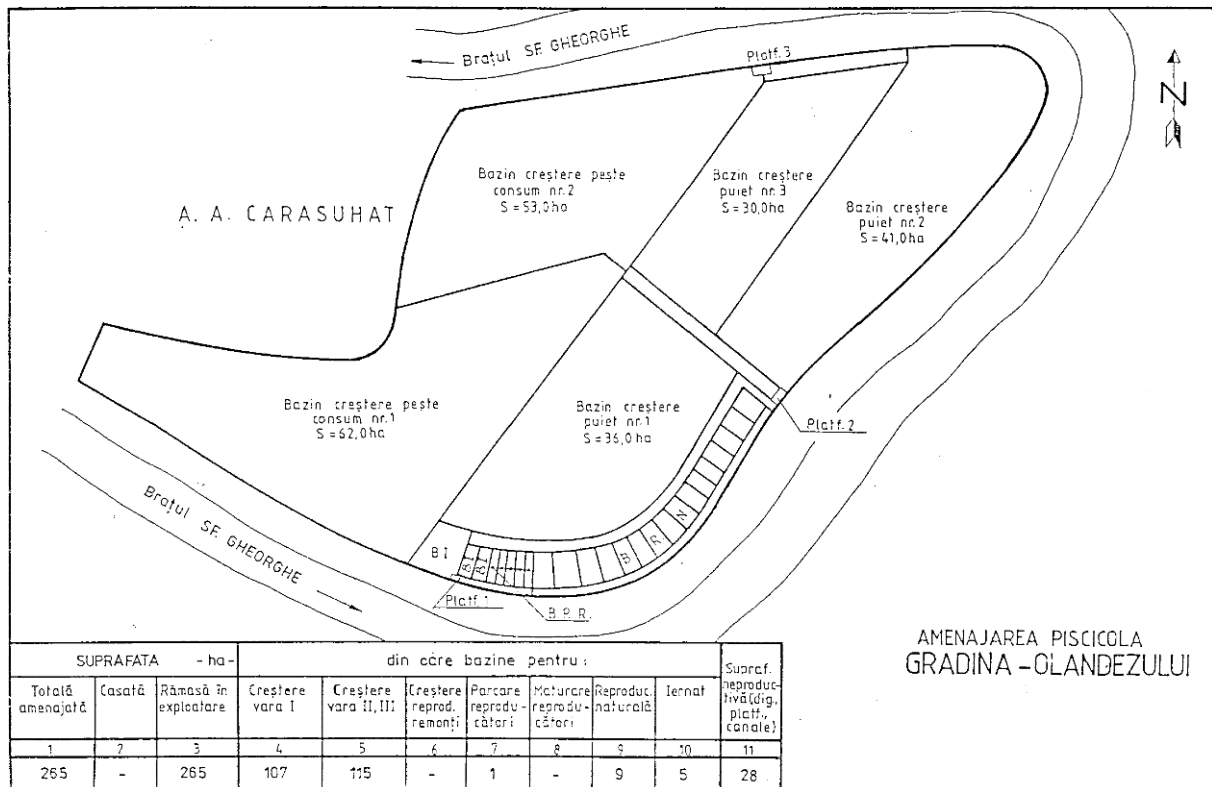


Fig.14.18 Plan de l'aménagement piscicole Gradina Olandezului
Source : CJT

On n'a pas beaucoup d'informations sur cet aménagement, ni sur son rendement et sa production, mais d'autres endiguements dans des buts agricoles ne sont réalisés que plusieurs dizaines d'années plus tard, autour de 1940, avant le commencement de la Deuxième Guerre mondiale (Gastescu & Stiuca, 2008). Il s'agit de l'aménagement agricole Tataru d'une surface de 1 550 ha, situé au nord du delta, sur une île du Bras Chilia (Fig.14.19).

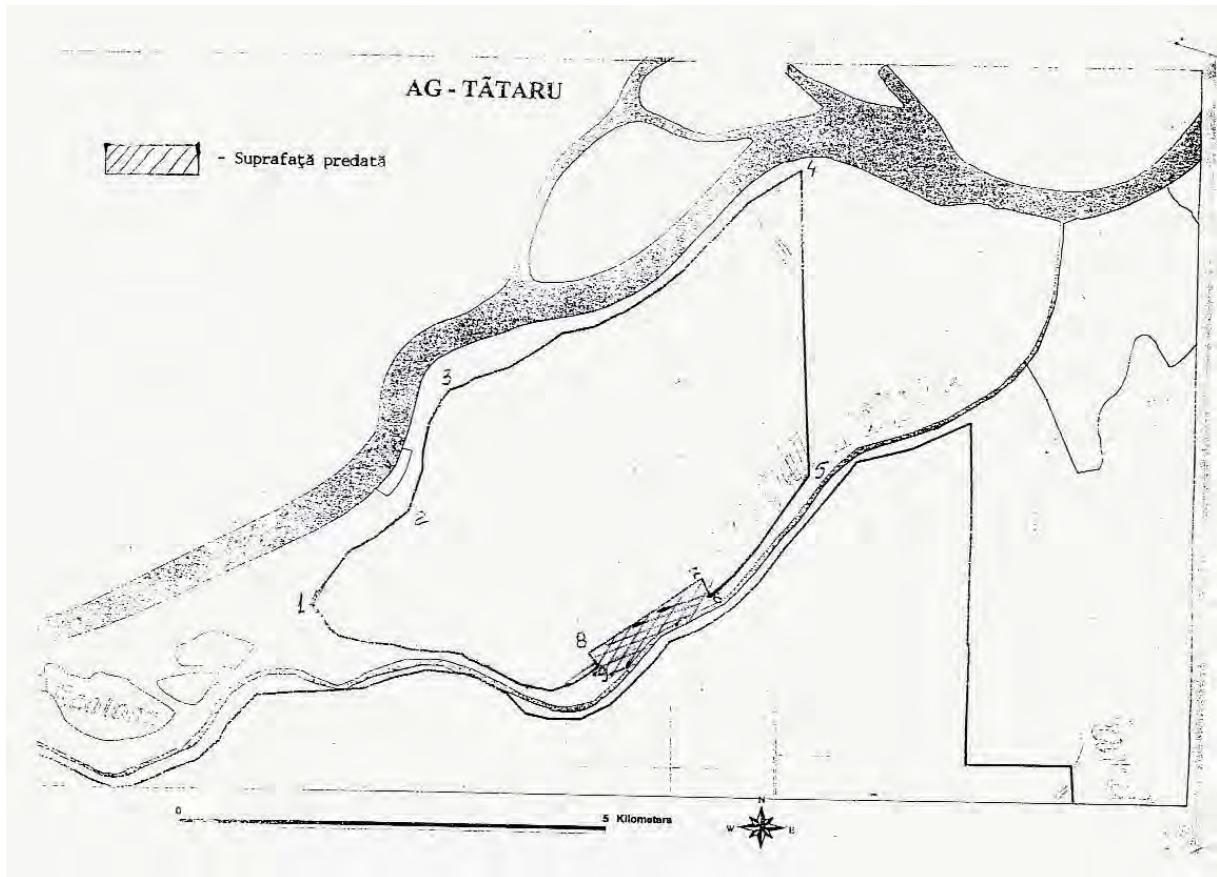


Fig.14.19 Plan de l'aménagement agricole Tataru
Source : CJT

Les grands aménagements agricoles dans le delta du Danube sont réalisés dans les années 1980 en pleine crise de l'époque communiste. De grandes régions deltaïques couvertes de lacs, de canaux et de roseaux sont asséchées et transformées en terres agricoles à perte de vue (Fig.14.20).



Fig.14.20 Le polder de Pardina
Source : CJT

Dans l'île de Sf. Gheorghe, une surface de 2 863 ha est endiguée pour l'agriculture sous la forme de l'Aménagement Agricole Carasuhat (Fig.14.23) et encore 3 500 ha sont transformés en fermes agricoles en rive droite du Bras Sf. Gheorghe (Gastescu & Stiuca, 2008).

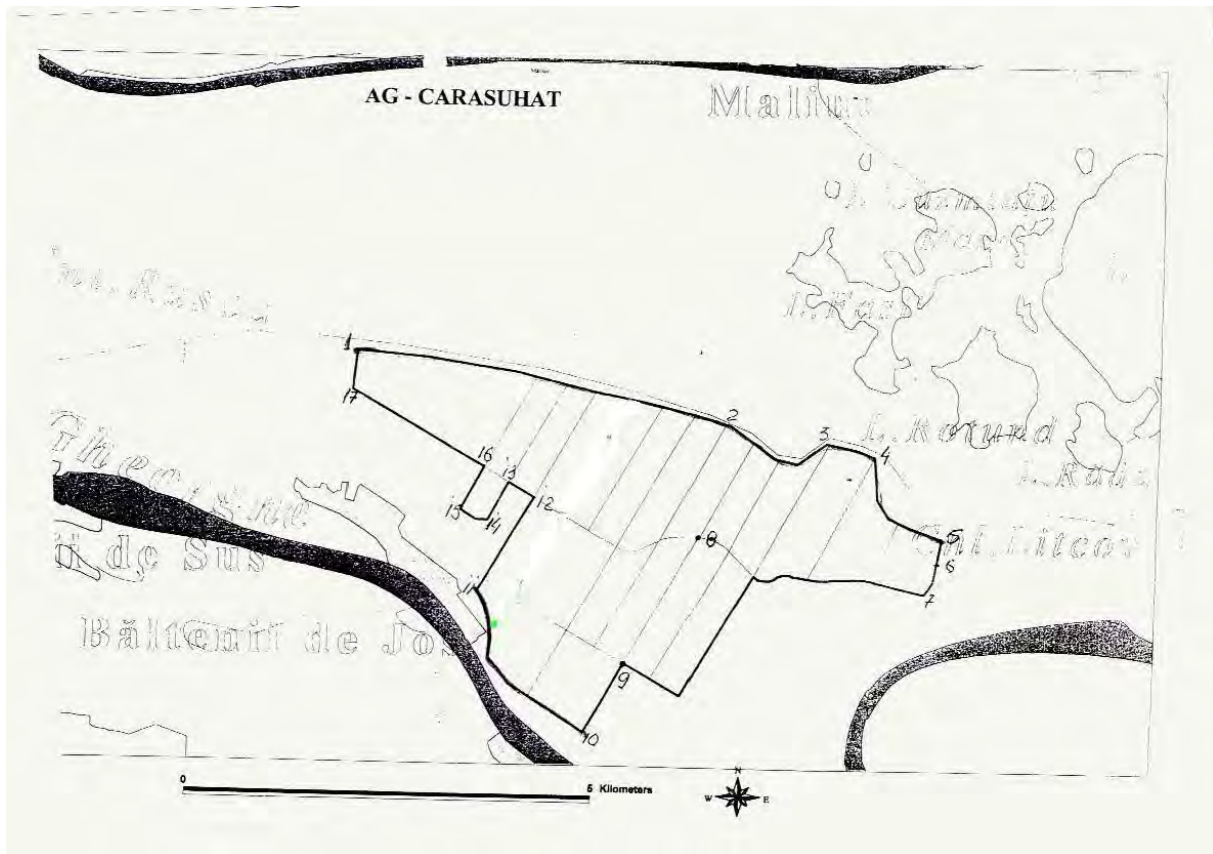


Fig.14.23 Plan de l'aménagement agricole Carasuhat
Source : CJT

14.4 Les forêts

B. Documents sylvicoles (Silvodelta et Romsilva)

Le fond forestier du delta du Danube peut être partagé en plusieurs catégories : fond forestier naturel en régime libre d'inondation, fond forestier planté en régime libre d'inondation, et fond forestier en régime entouré de digues et asséché.

Le fond forestier naturel en régime libre d'inondation (Fig.14.24) est représenté par la végétation forestière installée le long des rides, des bras et des canaux. Il est peuplé, en grande majorité, par des espèces de saule (*Salix alba* L., *Salix Fragilis* L.), et, en moindre mesure, par d'autres espèces comme le peuplier blanc (*Populus alba* L.) ou gris (*Populus canescens* Sm.). Le fond forestier naturel s'est propagé en surface suite à la création des canaux dans le delta. Le matériel dragué étant déposé sur les rives, les vitesses de colonisation se sont accélérées durant l'optimum des travaux de construction.



Fig.14.24 Canal bordée de saules près de Mila 23

Le fond forestier planté, en régime libre d'inondations, forme des bandes de forêts le long du réseau hydrographique non-entouré de digues, ainsi que dans la zone de digue-rive, avec comme fonction principale la stabilisation des berges et leur protection contre les vagues créées par le vent et par les bateaux. L'exemple le plus marquant montre un alignement de peupliers au long du bras Sulina (Fig.14.25).



Fig.14.25 Alignement de peupliers coupés sur la digue du village de Gorgova, bras Sulina

L'année 1962 constitue un repère chronologique relatif, caractéristique des modifications anthropiques. Cette période marque le début de l'introduction de nouvelles espèces dans le delta du Danube : il s'agissait de remplacer les espèces autochtones, à faible productivité, par des espèces à croissance rapide. La période 1965-1977 voit la création d'enceintes entourées de digues entièrement dédiées à ce type de productions.

Le fond forestier en régime entouré de digues - asséché est représenté par les enceintes Papadia (Fig.14.26) – 2 010 ha et Rusca – 1 194 ha, Carasuhat - 620 ha, Murighiol – 403 ha, 1 Mai - 425 ha, Sf. Gheorghe – 1 790 ha. Ces espaces sont dévolus à la production sylvicole et, à l'exception de l'enceinte Sf. Gheorghe située à l'embouchure du bras homonyme, sont localisés dans le delta fluvatile.

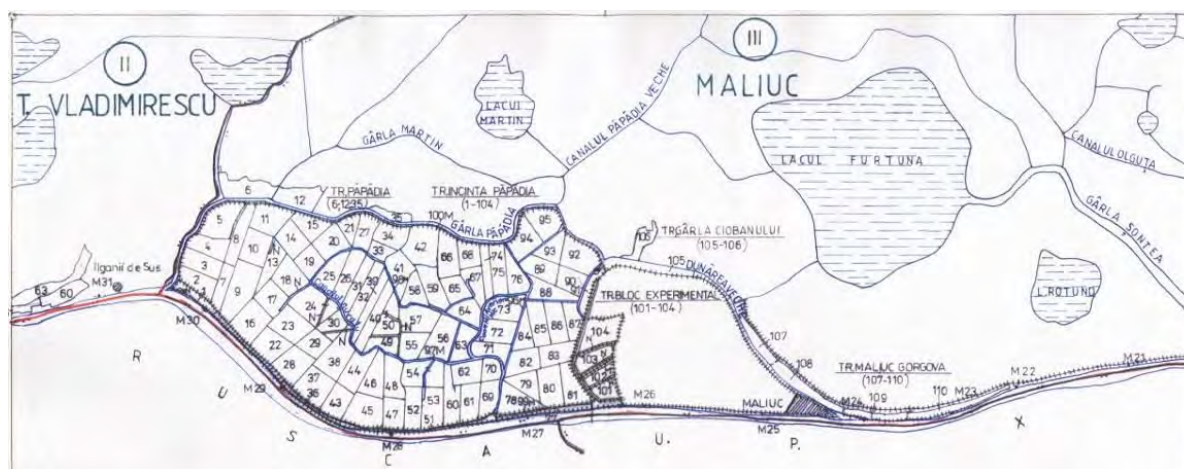


Fig.14.26 L'enceinte Papadia, 2005

Source : Romsilva

Ces enceintes sont boisées avec des espèces introduites pour obtenir une production de masse ligneuse supérieure à celle obtenue par les espèces naturelles. Ont été introduites des espèces hybrides de peuplier, comme le peuplier euro-américain (clones R-202 et R-204). Dans certains endroits ont été introduites d'autres espèces, parmi lesquelles l'érable américain (*Acer negundo* L.) et le frêne de Pennsylvanie (*Fraxinus pennsylvanica* Marsh.). Dans l'aménagement sylvicole de Rusca, on trouve des espèces de platane hybride (*Platanus x acerifolia* Willd) et du noyer noir (*Juglans nigra* L.) (Petcu, 2012). Les trois catégories de forêts gérées par les organismes sylvicoles c'est-à-dire le fond forestier naturel, le fond forestier planté en régime libre d'inondation, ainsi que le fond forestier en régime entouré de digues au sommet, totalisent une surface de 21 000 ha.

Romsilva essaye d'assumer la gestion d'autres surfaces forestières « naturelles » (estimées à 3 000-5 000 ha dans tout le delta), actuellement gérées par la ARBDD, selon les dires de M. Costel Petcu, Directeur technique de la Direction Sylvicole Tulcea. Un autre projet d'avenir est l'utilisation des espèces indigènes pour des replantations, après récolte des arbres arrivés à maturité sur les surfaces plantées avec des espèces introduites.



Fig.14.27 Plantation d'accacia à Papadia

Source : C. Petcu, 2012

14.5 La réserve de la Biosphère Delta du Danube

14.5.1 La gouvernance

Après la chute du régime Ceausescu en décembre 1989 une nouvelle entité voit le jour. En 1990 est fondée la Réserve de la Biosphère du delta du Danube et le delta du Danube est classé au patrimoine mondial de l'humanité de l'UNESCO pour sa biodiversité en 1991.

Mais le système fonctionne encore par inertie et les projets qui sont en cours sont poursuivis. C'est le cas aussi pour le delta du Danube. Les travaux dans la zone Sontea-Furtuna pour l'aménagement d'un polder agricole sont poursuivis quelques mois après la chute du régime. Le recouplement des méandres du bras Sfantul Gheorghe est également mené jusqu'à sa finalisation en 1992. La plupart des responsables dans toutes les institutions restent au pouvoir et la Roumanie se trouve dans un régime semi-démocratique en évolution.

La réserve de la biosphère ne remplace pas l'ancienne centrale du delta. Elle prend en gestion seulement les zones « naturelles », groupées en deux grandes catégories : la zone cœur avec 20 sites d'une surface totale de 50 904 ha et les zones tampon d'une surface totale de 222 996 ha. Les aménagements piscicoles et agricoles sont gérés par le Conseil Départemental du Tulcea qui concède les aménagements qui sont encore rentables, pour des périodes comprises entre 10 et 50 ans.

Des projets de renaturation, nommés aussi « reconstruction écologique », sont mis en place, d'anciens aménagements qui ne sont pas rentables sont remis en eau. Suite à ce processus, les régions en question passent du CJT vers la RBDD.

Les forêts sont d'abord gérées par une société nouvellement créée, Silvodelta, jusqu'en 2002 puis reviennent dans le giron de l'office forestier roumain, Romsilva.

14.5.2 Les projets avortés

Après à la chute du régime communiste, plusieurs projets d'aménagement sont arrêtés dans le delta du Danube. Dans la région de Caraorman, le projet concernant l'exploitation de 256 ha de dunes de sables quartzueux est arrêté par le nouveau régime post communiste, après un investissement d'environ 10 millions de dollars et après les premiers tests réalisés.

Dans la région centrale du delta, Sontea-Fortuna, un autre projet concernant la réalisation d'un polder agricole sur une surface de 2 115 ha est arrêté. Cette surface a fait l'objet d'un projet de renaturation en 1998 (INCPDD, 1997).

Babina (2 100ha) et Cernovca (1 580ha) sont d'autres projets d'aménagement agricole qui sont arrêtés en 1990 et qui font l'objet des premiers projets de renaturation en 1994 et 1996 (Gastescu & Stiuca, 2008).

Certains aménagements piscicoles connaissent une reconversion et deviennent des fermes agricoles, comme c'est le cas de Rusca, Stipoc, ou Ceamurlia.



Paysage agricole dans l'AP Rusca, 2011



Paysage agricole dans l'AP Rusca, 2011

Fig.14.28 Reconversion des fermes piscicoles en fermes agricoles

Source : CJT

14.5.3 La renaturation et la réhabilitation

La plupart des projets de renaturation sont réalisés par l'Institut du Danube qui s'est transformé, du jour au lendemain, d'aménageur en acteur écologique. En théorie, la reconstruction écologique se propose de ramener un écosystème artificialisé (dans ce cas les milieux deltaïques ayant fait l'objet d'aménagements piscicoles et agricoles abandonnés ou en

déclin économique) à un état antérieur aux interventions anthropiques. Dans ce contexte, les conditions naturelles d'avant l'intervention humaine représentent le point de référence idéal pour projeter les activités de reconstruction écologique.

Cette notion d'état initial ne va pas sans poser problème, car il est souvent difficile d'établir la chronologie des changements du milieu et d'estimer, sur la longue durée, l'impact des aménagements. Dans un milieu qui est en grande partie artificialisé, la résilience des écosystèmes ne peut s'envisager que comme une construction, et non une reconstruction chargée d'idéologie.



Photo 15.14 Paysages avant la reconstruction écologique dans AA Babina, 1993



Photo 15.15 Paysages après la reconstruction écologique dans AA Babina, 1994

Fig.14.29 Renaturation avant/après

Source : INCDDD

Le principe général de la reconstruction écologique des enceintes agricoles et piscicoles abandonnées est celui d'une reconnexion au régime naturel d'inondabilité du Danube, par l'ouverture de brèches dans les digues de protection. Au total plus de 16 000 ha sont remis en eau entre 1994 et aujourd'hui (Tableau 14.1, Fig.14.31).



Fig.14.30 Ouverture de la digue de ceinture dans l'aménagement agricole Babina, 1994

Source : INCDDD

| | Nom | Type d'aménagement | Année | Surface (ha) |
|---|-----------------------|--------------------|-------|--------------|
| 1 | Babina | agricole | 1994 | 2 100 |
| 2 | Cernovca | agricole | 1996 | 1 580 |
| 3 | Fortuna | agricole | 1998 | 2 115 |
| 4 | Popina | piscicole | 2000 | 3 600 |
| 5 | Dunavat II | piscicole | 2004 | 1 260 |
| 6 | Holbina I | piscicole | 2008 | 1 270 |
| 7 | Holbina II | piscicole | 2008 | 3 100 |
| 8 | Méandres Sf. Gheorghe | forestier | 2008 | 687 |
| 9 | Carasuhat | agricole | 2015 | 924 |

Tableau 14.1 Les projets de renaturations dans le delta du Danube (INCDDD, CJT)

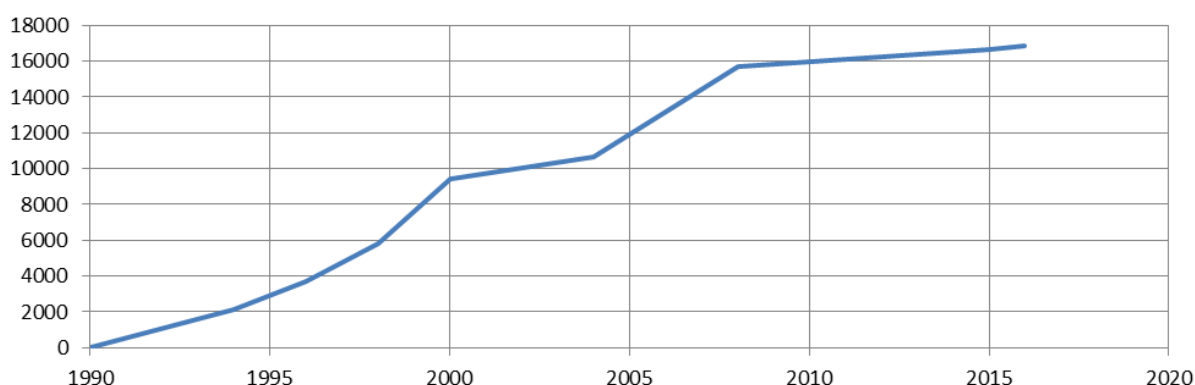


Fig.14.31 L'évolution des surfaces (ha) soumise à la renaturation dans le delta du Danube (INCDDD, CJT)

Une autre action menée dans le delta après 1989 est la réhabilitation du système hydrologique, action qui suppose la réalisation de travaux hydrotechniques destinés à améliorer la circulation de l'eau et le développement des habitats naturels pour les poissons et oiseaux, dans les complexes aquatiques naturels. Coté RBDD, les travaux projetés sur la période 1990-2010 consistaient en la réorganisation des canaux existants par des travaux de dragage ainsi que la clôture de certains canaux et le calibrage d'autres (Fig.14.32). Pendant la période 1990-2010 au total 458 km de canaux ont subi des travaux de dragages sur l'ensemble du territoire de l'a RBDD (INCDDD, 2010).

Dans la région Sontea-Fortuna pendant 1991-1996 et 1999-2010 des travaux de dragages ont été réalisés sur 113,039 km de canaux, soit un total de 3 565,841 m³ de sédiments enlevés.

Dans la région Matita-Merhei de 1992 à 1994 et de 2003 de 2010 des travaux de dragages ont été réalisés sur 50,987 km de canaux, soit un total de 981,59 m³ de sédiments enlevés.

Dans la région Gorgova-Uzlina pendant les périodes 1991 à 1994 et de 2006 à 2010 des travaux de dragages ont été réalisés sur 77,38 km de canaux, soit un total de 2 178,659 m³ de sédiments enlevés.

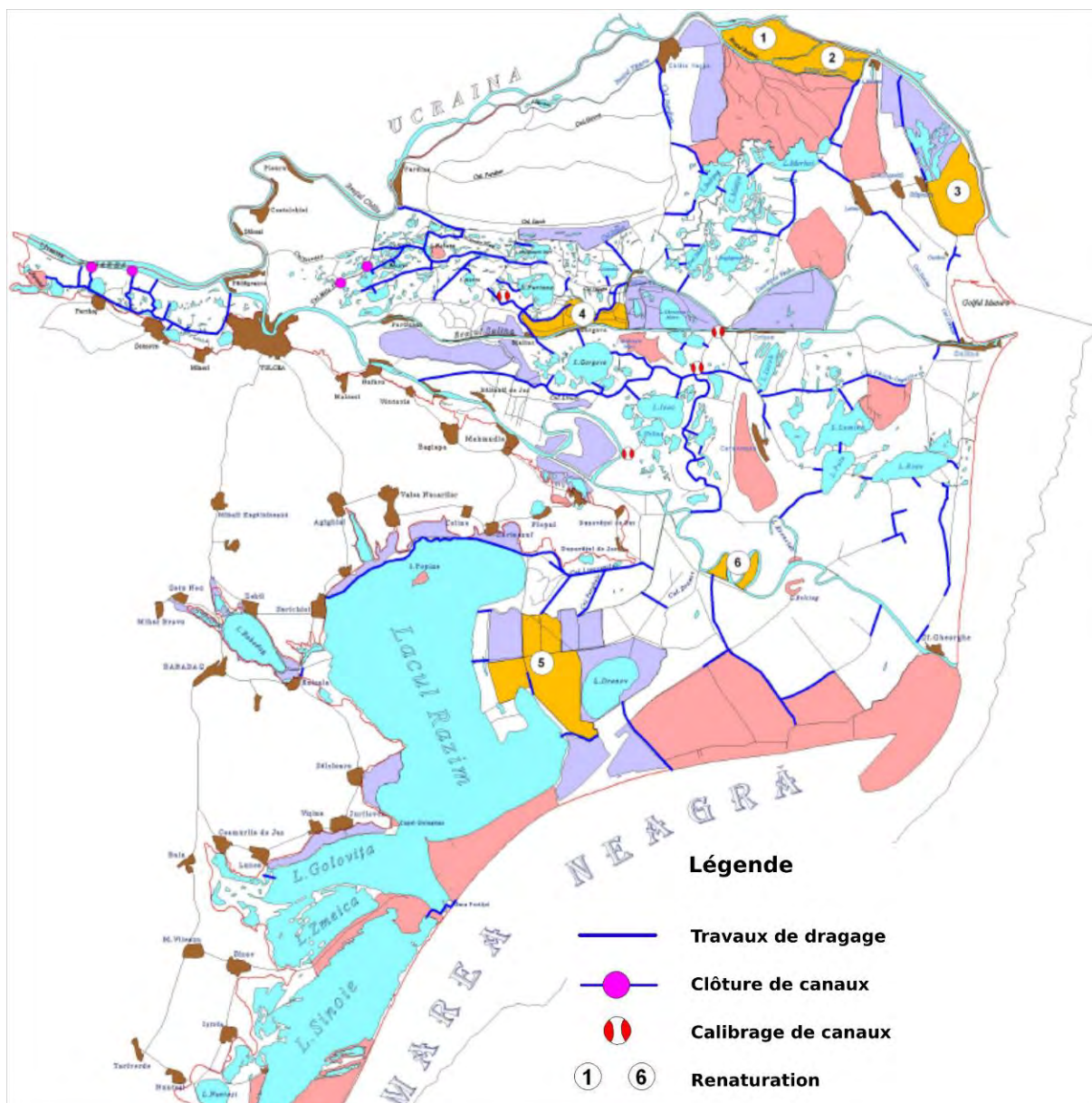


Fig.14.32 Réhabilitation du système hydrologique dans le delta fluvial 1991-2010
 Source : INCDDD,2010

Sur notre terrain d'étude, dans un intervalle de 20 ans, 241,406 km de canaux ont fait l'objet d'interventions, au total un volume de 6 726 ,09 m³ de sédiments ont été enlevés.

14.5.4 Le tourisme

Pendant la période communiste le réseau de logements touristiques dans le delta du Danube était assez réduit, représenté par quelques hôtels à Maliuc, Crisan et Sulina, et campings à Ilgani ou Rosu, qui ne totalisaient que quelques centaines de places. Mais le camping « sauvage » était aussi pratiqué (Fig.14.33). Dans le passé comme aujourd'hui l'hébergement directement chez les habitants est possible, mais sans pouvoir quantifier la part de ce type de touristes dans le nombre total des visiteurs dans le delta.



Hotel Salcia, Maliuc
Source : delcampe.net



Hotel Lebada, Crisan
Source : delcampe.net



Le camping Rosu
Source : delcampe.net



Camping sauvage
Source : Viorel Simion

Fig.14.33 Des infrastructures touristiques dans le delta avant 1990

Après le changement de régime de 1989 une partie des aménagements touristiques sont abandonnés, comme c'est le cas des anciens campings, d'autres changent de propriétaire et sont modernisés comme l'Hotel Lebada de Crisan. D'autres hôtels sont aménagés dans d'anciens bâtiments reconvertis, c'est le cas de l'hôtel « La dernière frontière » de Periprava, une ancienne prison(Fig.14.34).

De nouveaux hébergements sont créés, comme les campings de Sf. Gheorghe et Portita (Fig.14.35) et surtout les pensions touristiques. Les pensions touristiques sont devenues le principal moyen d'hébergement pour les touristes car un nombre très important a été créé dans tous les villages du delta. Le manque de législation a permis la construction de bâtiments qui ne s'intègrent pas à l'architecture locale du delta (Fig.14.36).



Le complexe Lebada, Crisan
Source : Razvan-Gelu Diaconu



Hôtel « La dernière frontière », Periprava
Source : Razvan-Gelu Diaconu

Fig.14.34 Les hôtels dans le delta



Camping Sf. Gheorghe



Camping Portita

Fig.14.35 Les nouveaux campings dans le delta

Source : Dragos Astafei



Pension touristique Mila 23



Pension touristique Mila 23

Fig.14.36 Les pensions touristiques dans le delta

Aujourd'hui sur le site de l'ARBDD (ddbba.ro) sont recensés dans le delta du Danube 9 hôtels, 4 campings, 75 pensions touristiques et agrotouristiques, ainsi que 23 hôtels flottants, mais Ionut Chirica, le président de l'association du développement et promotion touristique Tulcea, parle de 441 structures d'hébergement autorisées, soit 7 240 places par nuit (Gavrilas, 2018). Ces chiffres évidemment ne prennent pas en compte l'hébergement qui se fait

de façon traditionnelle dans les maisons des habitants et dans des structures d'hébergement qui ne sont pas (encore) autorisées.

Le passage du nombre des logements pour les touristes dans le delta de quelques centaines de places/nuit pendant la période communiste, à plus de 7 000 places aujourd'hui semble montrer une explosion du tourisme dans le delta après la révolution roumaine. Ces données sont contredites par certains auteurs (Gomez-Baggethun et al., 2019) qui affirment, basé sur les chiffres du Ministère roumain du tourisme de 2018, que le pic du nombre des touristes, roumains et étrangers confondus, a été atteint dans les années 1970 avec plus de 140 000, et que dans la période récente ce nombre se situerait entre 80 000 et 100 000. Cette contradiction soulève des questions quant à la vision des autorités sur l'ampleur réelle du tourisme dans le delta.

Suite à l'afflux de touristes dans toutes les régions du delta, on constate une croissance des petits bateaux à moteur de plus en plus puissants qui, du fait de leur utilisation intensive et souvent à grande vitesse, ont provoqué une accélération d'érosion des berges. Une loi de 2015 (538/2015) limite la vitesse maximale sur les grands canaux à l'intérieur du delta à 40 km/h et sur les petits canaux à 5 km/h. D'autres actions sont envisagées, comme l'interdiction des bateaux à moteur dont la puissance est supérieure à 100 cv, ainsi qu'un suivi radar des embarcations.

Conclusion du chapitre 14

Après l'analyse d'un nombre important de documents au sein des Archives Nationales de Tulcea, je suis parvenu à identifier différentes étapes dans la création des aménagements du delta du Danube. Une première étape de projets (et études) implique la réalisation de levés topographiques et d'études géotechniques. Une deuxième étape suppose la préparation de ce territoire par l'expropriation et le déplacement des populations du périmètre destiné à l'aménagement, la démolition des éventuels bâtiments, l'arrachage des arbres et de la végétation qui pouvait gêner les travaux. Une ultime étape consiste en la construction de digues, de canaux et de plateformes, en l'aménagement de moyens d'inondation et d'évacuation des eaux des enceintes, et en la construction de bâtiments nécessaires au fonctionnement de l'unité : laboratoires, dépôts, habitations, centrales électriques ou thermiques, cantines.

Après la Deuxième Guerre mondiale les premières interventions dans le delta dans la période communiste ont visé l'exploitation du roseau. A part le creusement d'un nombre très important de canaux et la construction de plateformes pour stocker le roseau pour le séchage en vue de son transport, on note aussi la construction de digues pour pouvoir contrôler le niveau d'eau pendant la période de la récolte. Les régions concernées par ces aménagements sont Obretin, Rusca, Maliuc et un peu plus tard Pardina, situées dans la partie fluviale du delta. Leur choix n'est pas aléatoire car ce sont des régions naturellement entourées par des levées de berges des bras Chilia, Sulina et Sf. Gheorghe ainsi que par les rides Stipoc et

Chilia, dans le cas de Pardina. Le travail a été ainsi plus facile, puisqu'il a suffi de consolider et élever ces barrières naturelles jusqu'à une hauteur qui ne soit pas dépassée par les grandes crues du Danube. L'accès et l'évacuation des eaux du Danube via les canaux préexistants ont été contrôlés par la construction d'écluses.

À la fin des années 1960, la production de roseau commence à décliner en raison de l'utilisation d'engins lourds à chenilles. À partir de ce moment, les travaux d'aménagement se déplacent vers l'intensification de la production piscicole.

En 1970 est créée le CDD (Centrale Delta du Danube), la société qui va gérer l'ensemble du delta, et, à Tulcea, est créé l'INCDDD, un institut de recherche qui assume, à la place de l'Institut de Projets de Bucarest, la responsabilité de planifier les aménagements piscicoles dans le delta du Danube. À cette période sont édifiées, sur mon territoire d'étude, les fermes piscicoles d'Obretin, de Rusca et de Stipoc avec leurs constructions spécifiques (digues, bassins, canaux, usine de transformation). Les aménagements sylvicoles de Rusca et de Papadia sont entourés de digues à la même période. Les puissantes inondations du printemps 1970 qui détruisirent en partie des villages dans le delta (Mila 23, Vulturul) donnèrent lieu à l'édification de digues de protection dans ces localités.

L'année 1983 marque une nouvelle étape dans l'aménagement du delta, avec la validation du « Programme d'Aménagement et d'Exploitation Intégrale du Delta du Danube ». C'est l'étape des grands aménagements agricoles, de l'achèvement de l'assèchement de la dépression de Pardina, un peu plus tard la région Sireasa est asséchée et commencent les travaux d'assèchement d'une autre région située au sud du Lac Furtuna, travaux qui sont stoppés en 1989 par la révolution. Toujours à cette même période, les expérimentations sur la culture du roseau s'arrêtent à Maliuc et en 1985 est créé un aménagement piscicole pour se substituer à cette activité. La Révolution Roumaine de 1989 met fin à cette période de course effrénée à la domestication du delta du Danube, et tous les nouveaux projets d'aménagement du delta du Danube s'arrêtent.

Au moment de la révolution roumaine plus de 100 000 ha du delta avaient été transformés pour la pisciculture (48 826 ha), l'agriculture (45 769 ha), et pour les forêts 21 000 ha. Une figure de synthèse (Fig.14.38) présente l'évolution dans le temps de ces transformations.

Après la création de la Réserve de la biosphère Delta du Danube les enjeux oscillent entre conservation et continuation des activités économiques dans les anciennes régions aménagées. Les zones endiguées qui ne sont pas économiquement rentables font l'objet de projets de renaturation. D'autres travaux de dragages sont réalisés sur des nombreux canaux dans le delta dans le but de la réhabilitation du système hydrologique, travaux qui sont associés aussi avec la clôture et le calibrage de certains canaux.

Le développement rapide et mal contrôlé du tourisme, après 1990, activité devenue l'une des seules sources de revenu pour la population locale, ainsi que le spectre d'une future exploitation des hydrocarbures, font peser de gros risques sur ce milieu hautement fragile.

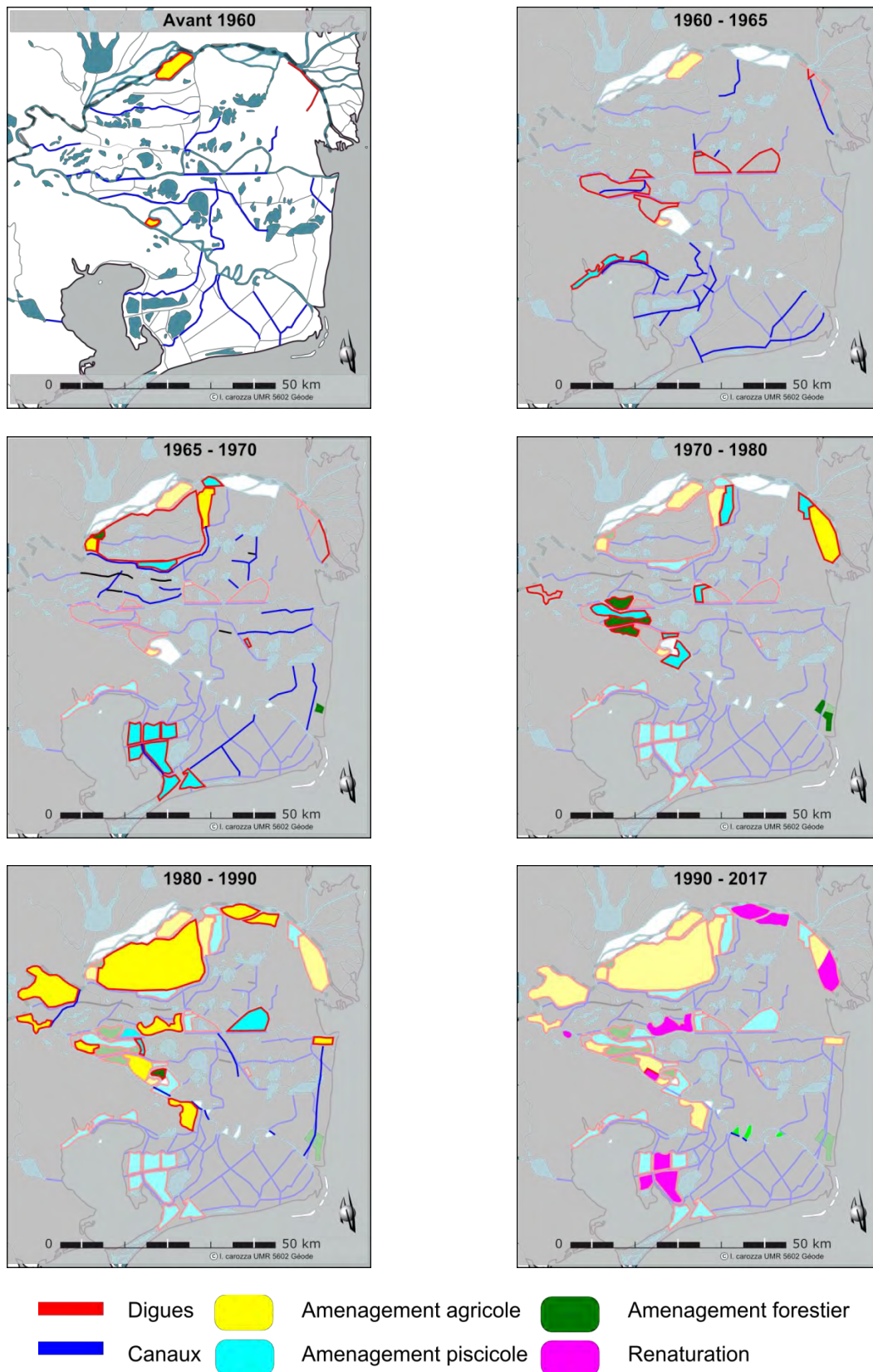


Fig.14.37 Synthèse des transformations du delta du Danube après 1940

Conclusion quatrième partie

A partir de l'analyse des cartes disponibles du delta, prenant en compte la découverte de ce territoire difficilement accessible et les interventions humaines, quatre temps forts dans la production cartographique ont été identifiés pour le delta du Danube, temps forts qui pourront être extrapolés éventuellement à d'autres espaces deltaïques du monde (Constantinescu & Tanasescu, 2018).

Une première phase correspond à l'exploration des côtes, dont les précurseurs ont été les antiques Anaximandre de Milet et Hécatée de Milet avec le « tour du monde », suivis par Ptolémée. Toutes les cartes de navigation du Moyen Age (portulans) et jusqu'à l'époque moderne, dont le principe est le même, ont cartographié d'abord le littoral pour s'enfoncer après dans les terres.

Une deuxième phase est dite d'exploration « en profondeur », quand les prospections cartographiques se concentrent le long des principaux distributeurs du delta. Ce sont plutôt des cartes à but militaire, réalisées par les grands empires, comme c'est le cas de la carte russe de 1771, la carte turque « la plaine de Dobrogea » du XVIII^e siècle, ou la carte autrichienne du Bas Danube de 1826, ainsi que les premières cartes réalisées par la CED (1856, 1861, 1867) qui ont précédé les grandes interventions dans le delta.

La troisième phase est l'exploration de l'intérieur du delta, pour des raisons plutôt économiques et d'aménagement/transformation du territoire à des fins piscicoles, d'exploitation du roseau, forestières et agricoles. Cette phase a conduit à l'élaboration de cartes détaillées basées sur des campagnes de mesures de terrain, une première étant la carte de l'armée roumaine de 1886, suivie par les cartes réalisées sous la direction d'Antipa (1911, 1917), les cartes autrichiennes de 1902 et 1918, la première carte topographique de l'armée roumaine (1960-1962) et la carte hydro-topographique de 1965. A partir de 1967 l'armée roumaine utilise également des photos aériennes pour la mise à jour et la réalisation de ses cartes topographiques (1971-1972, 1980-1981).

Une quatrième et dernière phase, dans laquelle nous sommes aujourd'hui, la phase du « protectionnisme écologique » a commencé en 1991 avec l'instauration du statut de réserve de la biosphère du delta. Pendant cette phase, la production de nouvelles cartes topographiques est suspendue et l'on utilise des images aériennes très détaillées, comme c'est le cas des images ortho-photos de 2005 et 2010.

Pendant l'Antiquité, Ptolémée, au II^e siècle, nous parle d'un grand lac nommé Thiagola, situé au nord du delta, probablement la moitié nord de la région Matita-Merhei de nos jours. Cela signifie que le bras nordique du delta n'avait pas encore percé la ride Chilia.

Les Romains, les grands aménageurs de l'antiquité, n'ont pas laissé de trace de leur passage dans le delta du Danube, comme ils ont fait par exemple dans le delta du Rhône, pour plusieurs raisons. Située à la frontière de l'Empire romain cette région a été annexée dans la deuxième moitié du I^{er} siècle AEC et ils sont restés ici pendant environ six siècles. Globalement la province a été stable et prospère pendant environ quatre siècles, mais elle a

L'époque contemporaine amène un changement radical dans le delta du Danube à partir de 1856 avec la création de la Commission Européenne du Danube. Jusque-là un espace plutôt instable, incertain et marginalisé, il devient un espace important à aménager pour la navigation. C'est une première grande étape dans la transformation de ce territoire. Comme le souligne Engelhardt : « *détruire la cause des atterrissements, c'est-à-dire empêcher le charriage constant des alluvions, telle semblerait être la véritable solution de la difficulté* » (Engelhardt, 1870). Il faut donc combattre l'alluvionnement en construisant des digues et en généralisant le dragage. Toutes ces actions sont à mettre en relation avec les connaissances scientifiques en hydrauliques qui ne cessent de progresser au XIX^{ème} siècle. Les ingénieurs hydrauliques règnent en maîtres sur les cours d'eau européens et les aménagements projetés s'appuient sur des études scientifiques rigoureuses. Partout, le but de la rectification est de favoriser le commerce et ici, sur le Danube, le commerce international.

Les travaux colossaux réalisés par la CED s'inscrivent dans une tendance européenne plus large et témoignent d'une conception très utilitariste du rapport entre les sociétés et les cours d'eau. Partout, sur les fleuves européens, des travaux d'artificialisation et de rectification des tracés se généralisent. À la même époque, les ingénieurs œuvrent sur le Rhône, la Loire, la Garonne, la Gironde, le Po, l'Oder, le Rhin et bien d'autres.

Durant cette période la CED, par son action, bouleverse la physionomie des paysages du delta du Danube, notamment autour du bras de Sulina avec la réalisation des travaux d'énrochements, des rectifications, des dragages, mais également en règlementant la navigation. Cette période d'aménagements se traduit également par une structuration et un développement des villages. À l'embouchure, le port de Sulina ne cesse de se développer et des villages s'implantent le long de la voie commerciale. Si le but premier était d'améliorer les modalités de la navigation en aménageant le bras de Sulina, les travaux de recouplement de méandres et d'endiguement des berges ont eu un effet plus global dans la circulation des eaux et des sédiments. En effet, ces aménagements ont scindé en deux parties le delta, selon un axe nord/sud.

Le début du XX^{ème} siècle coïncide avec une nouvelle étape d'interventions sur le milieu et le système fluvial, avec les travaux d'amélioration de la circulation des eaux dans le delta. Sous l'égide du biologiste roumain Grigore Antipa, ces travaux ont été conduits pour accroître la production piscicole. Antipa élabore un projet global destiné à valoriser les activités économiques pour le delta mais sans arriver à le mettre en œuvre, à l'exception des interventions concernant le volet piscicole.

Après la Deuxième Guerre mondiale, avec l'instauration du régime communiste (proclamation de la République Populaire Roumaine le 30 décembre 1947), le processus d'aménagement du delta du Danube se poursuit, toujours dans une perspective d'exploitation des ressources naturelles.

Les archives et différents documents cartographiques permettent d'identifier plusieurs étapes de l'aménagement, sans qu'il soit toujours aisé d'en distinguer la succession chronologique. Nous pouvons toutefois identifier de grandes tendances liées à des changements d'usages qui s'inscrivent dans trois temporalités : le temps du roseau, le temps

de la pisciculture, le temps de l'agriculture. Ainsi, une partie du projet énoncé dans les travaux de Grigore Antipa va être réalisée durant la période communiste, période qui coïncide avec l'étape significative de l'artificialisation de l'ensemble des écosystèmes du delta, mais aussi avec d'autres travaux de ce type réalisés en Europe et dans le monde entier. A la fin des années 1980, l'intégralité du territoire du delta du Danube est impactée par des aménagements plus ou moins importants et plus de 100 000 ha sont totalement transformés.

De nos jours, les enjeux oscillent entre la poursuite des activités économiques et la reconstruction écologique, avec une empreinte de plus en plus forte du tourisme qui a un développement peu contrôlé.

Des projets de renaturation ont été déjà réalisés sur une surface de 16 830 ha. Compte tenu du peu de temps écoulé depuis la mise en œuvre des premiers projets de restauration au delta du Danube et de la longue durée qui est généralement nécessaire pour restaurer les fonctions des écosystèmes, les effets de la restauration au niveau des services et des bénéfices des écosystèmes sont encore largement incertains (Gómez-Baggethun et al., 2019). Toutefois, Ebert et al. (2009) suggèrent que les travaux de restauration écologique qui ont débuté dans le delta en 1993 ont déjà apporté des avantages significatifs : une meilleure capacité à atténuer les ondes des crues et à dépolluer (grâce à l'extension croissante des surfaces où les roseaux filtrent l'eau), l'amélioration de la biodiversité, le renforcement des économies locales par la diversification des ressources de subsistance (les activités économiques liées à recherche, le tourisme). Les données recueillies lors de la restauration de Babina et Cernovca indiquent que les roselières restaurées sont aussi des biofiltres importants pour la rétention et le cycle des nutriments (Schneider et al., 2008). La renaturation d'autres surfaces a été envisagée, comme l'aménagement piscicole Stipoc ou les aménagements agricoles Sireasa et Pardina. La mise en œuvre de ces projets semble peu probable à cause des enjeux économiques, actuellement ces aménagements étant en concession sur des périodes qui varient entre quelques années et quelques dizaines d'années. Ils apportent des bénéfices aux entreprises qui gèrent ces espaces, mais aussi au Conseil Départemental de Tulcea, qui reçoit des redevances annuelles.

Néanmoins, très souvent, les politiques mises en œuvre pour la conservation de cet espace protégé ne prennent pas en compte les populations habitant le territoire, ainsi que leurs occupations traditionnelles, faits qui génèrent des conflits (Dorondel & Mitroi, 2017 ; Prelz Oltramonti & Tanasescu, 2019 ; Tanasescu & Constantinescu, 2020). Les habitants du delta se sentent exclus de la prise de décisions aujourd'hui, tout comme dans le passé, quand la gouvernance était tournée vers le contrôle et l'exploitation des ressources du delta (Teampau, 2019).

Conclusion générale

Dans le contexte du réchauffement / changement climatique et de la remontée du niveau marin, mais aussi de l'érosion de la biodiversité, les deltas, ainsi que toutes les zones humides situées à l'interface terre-mer et connectées au réseau des cours d'eau continentaux, sont aujourd'hui un enjeu de recherche majeur. Ces milieux fragiles sont souvent fortement anthropisés avec un fonctionnement profondément altéré par des interventions humaines, tant au niveau des paysages, que des processus bio-géo-chimiques. Les travaux portant sur ces espaces ont mis en évidence des évolutions plus ou moins communes et synchrones dans le temps à l'échelle européenne, voir mondiale, avec une première phase d'anthropisation plus ou moins précoce et, dans un deuxième temps, un retour vers la naturalisation des zones aménagées dans l'histoire récente.

A l'instar d'autres deltas, comme ceux du Nil ou du Rhône qui ont fait l'objet d'interventions humaines plurimillénaires, le delta du Danube a fait aussi l'objet d'aménagements, mais avec une évolution qui lui est propre. L'histoire documentée des aménagements dans le delta du Danube n'a pas plus de 200 ans. Ce fait est lié à l'instabilité politique de la région, située aux marges de plusieurs empires et sur le passage Asie-Europe des vagues de peuples migrants. Cette instabilité, qui a été associée à plusieurs reprises avec des départs de populations, donne une autre spécificité au delta du Danube : il est resté un espace très peu peuplé par rapport aux autres deltas du monde.

Synthèse des principaux résultats

Ce travail a été structuré en deux grandes parties, couvrant des échelles de temps différentes (Fig.8). Une première partie s'intéresse aux archives de sol et une deuxième analyse les archives cartographiques et textuelles.

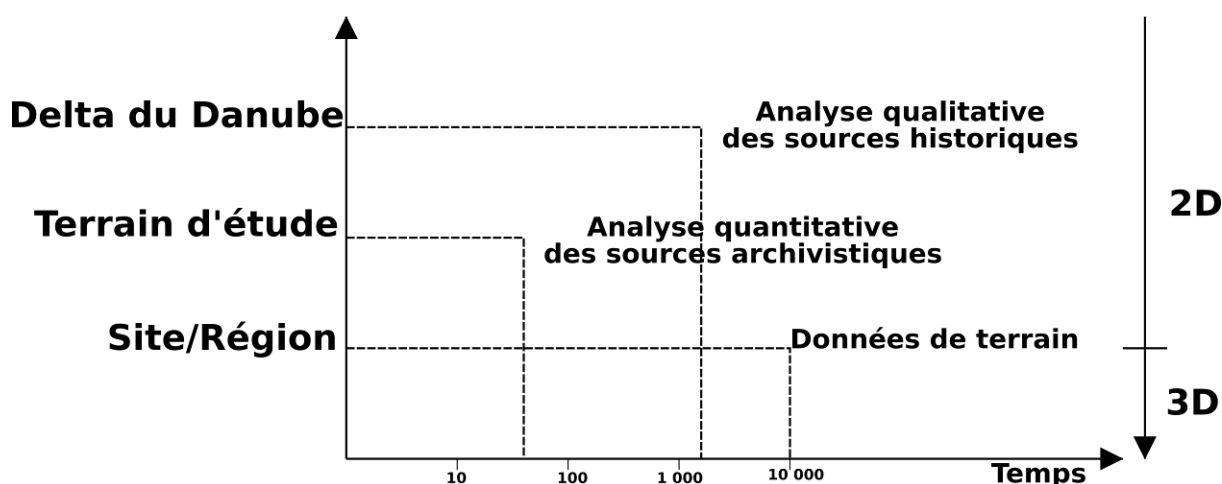


Fig.8 Echelle d'analyse des sources historiques, archivistiques et données de terrain

Le travail mené sur les archives du sol a permis d'avoir un aperçu de la formation et de l'évolution de plusieurs régions du delta fluvial pour des intervalles de temps allant jusqu'à 10 000 ans dans certains cas. Toutefois, même si la résolution des analyses des sites est assez

fine, ce travail est limité spatialement car les résultats des sondages effectués ne peuvent pas être extrapolés à l'intégralité de la région qui les héberge.

Les informations apportées par les carottages présentés dans ce mémoire, en corrélation avec les sondages effectués sur et autour du site de Taraschina (Carozza & Micu, 2017) permettent de proposer un schéma général de la partie amont du delta, en particulier des secteurs Pardina, Sontea-Furtuna et Mila23 au cours de l'Holocène. Elles constituent donc un apport majeur, complémentaire des informations récemment publiées par Vespremeanu et al. (2016, 2017), qu'elles permettent de discuter.

Pour la partie géohistorique, notamment l'analyse des cartes, une base de données cartographiques a été créée et enrichie tout au long de ce travail.

Nous avons délimité les cartes intégrant l'analyse qualitative et les celles pouvant répondre à une analyse quantitative. Même si des cartes très réalistes ont été réalisées relativement tôt (les cartes russes de 1935 et 1870) ou des cartes très détaillées en ce qui concerne les trois grands bras du Delta (les cartes CED 1857-1902), celles-ci n'ont pas pu être soumises à une analyse quantitative, car l'intérieur du delta n'y est pas cartographié, à l'exception de quelques grands lacs et grands canaux. Les cartes réalisées sous la direction d'Antipa (1911, 1917) pour ses projets d'aménagement concernant l'intérieur du delta ne sont pas non plus complètes (Barca, 1948). Selon notre analyse le seuil entre l'analyse qualitative et l'analyse quantitative est représenté par la Deuxième Guerre mondiale, car c'est seulement à partir de 1950 qu'on peut parler de cartes topographiques complètes et très détaillées, exploitables sous SIG.

Une deuxième échelle d'analyse est basée sur l'analyse qualitative des cartes historiques, doublées par des informations écrites, et couvre une période d'environ 2 000 ans, de l'Antiquité et jusqu'à l'époque contemporaine. L'analyse des textes et cartes qui sont arrivés jusqu'à nous de l'Antiquité, du Moyen Age et de l'Époque Moderne a déjà été tentée par d'autres auteurs (Stefanescu, 1981 ; Romanescu, 1995 ; Constantinescu, 2015). Ces sources, couvrant une période de deux millénaires caractérisée par des mouvements fréquents de peuples migrants, ne sont pas très nombreuses, mais surtout la qualité des cartes et des informations ne permet pas de mener une analyse détaillée de l'évolution du delta. Notre démarche d'analyse qualitative permet une approche descriptive de l'évolution de certaines régions du delta, évolution intimement liée avec l'évolution générale de l'ensemble du delta du Danube. Le Bras Chilia, après le percement de la Ride Chilia pendant l'Antiquité, commence la formation du lobe Chilia II dans la moitié nordique de la région Matita-Merhei d'aujourd'hui, moitié nordique qui était jusque-là un grand lac. Cet événement implique des changements dans la distribution des flux transportés par les trois bras du Danube, la perte enregistrée par les bras Sulina et Sf. Gheorghe se traduit par l'érosion de ces deux lobes deltaïques, surtout à l'embouchure du Bras Sulina.

Ainsi, les paysages du delta du Danube d'aujourd'hui sont des paysages de construction récente, au cours des derniers 1 000 ans, car les sites archéologiques, situés actuellement à environ 2,5m plus bas que le niveau actuel du delta, sont recouverts par les sédiments, fait qui atteste une rupture dans la dynamique du delta il y a environ 1 200 ans.

A partir de 1856, avec la création de la CED nous avons des cartes plus précises du delta, mais qui ne couvrent pas encore l'intégralité du territoire. Ce n'est qu'après la Deuxième Guerre mondiale que nous pouvons parler de cartes détaillées sur l'intégralité du territoire. C'est à partir de ce moment qu'on peut faire un troisième et dernier changement d'échelle et analyser en détail la rupture d'après la Deuxième Guerre mondiale, associée à l'aménagement intensif des plaines alluviales dans la partie fluviale du delta. Cette approche consiste à quantifier les changements enregistrés au niveau de chaque km² du delta fluvial, suite aux interventions anthropiques, pendant les derniers 70-80 ans. Au cours des décennies d'après la Deuxième Guerre mondiale, des raisons économiques et le mépris total pour les exigences écologiques ont été à l'origine de la création d'un réseau de drainage très dense pour l'exploitation du roseau, pour alimenter les fermes piscicoles et les terrains agricoles en eaux, et pour l'exploitation forestière. De nombreux canaux, comme ceux de Crișan-Caraorman ou Mila 35, ont complètement perturbé le système naturel de circulation de l'eau, avec de graves conséquences pour l'évolution normale de la zone.

Les carottages effectués dans la partie fluviale du delta du Danube ont montré que la construction des paysages dans cette région est assez récente et l'analyse des sources d'archives atteste que le rôle de l'homme dans cette construction avant 1856 est d'une moindre importance. Si jusque là on peut considérer que le delta évolue suite aux facteurs de contrôle naturels, comme l'eustatisme, la subsidence, ou la péjoration climatique du PAG, à partir de ce moment les paysages jeunes du delta du Danube sont fortement impactés par les forçages anthropiques. Ainsi nous avons identifié plusieurs temps forts (T1-T5) dans l'altération des trajectoires d'évolution du delta du Danube (Fig.9).

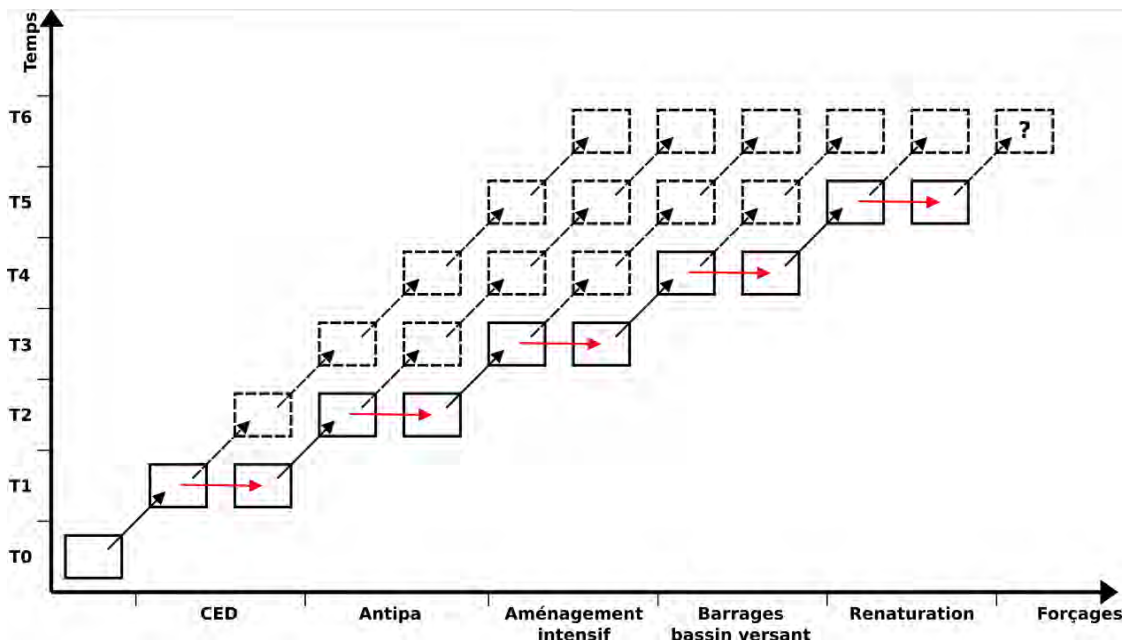


Fig.9 Forçages anthropiques dans l'évolution du delta du Danube

Ces changements ont commencé par les corrections de la CED (T1) apportées au bras Sulina (1862-1902) pour le rendre navigable. Cette intervention a coupé les flux d'eaux et sédiments en provenance du Bras Sulina vers l'île de Letea au nord et l'île Sf. Gheorghe au

sud. De même, le rapport de distribution entre les Bras Sulina et Sf. Gheorghe a été modifié, la vitesse d'écoulement du Bras Sulina étant accélérée, faits qui entraînent l'évacuation plus rapide des sédiments transportés par ce bras vers la mer.

A partir du début du XX^{ème} siècle (T2), pour faciliter la navigation intérieure du delta et la pêche, de nouveaux canaux sont creusés sous la direction de l'hydrobiologiste roumain Grigore Antipa. Ces travaux vont à nouveau changer les flux liquides et solides à partir des trois bras principaux vers l'intérieur. D'abord sont creusés des canaux comme ceux de Dranov et Dunavat, localisés au sud du delta dans l'île de Dranov, et après, dans les années 1920-1940, d'autres canaux apparaissent sur l'ensemble du delta, comme Litcov et Caraorman, dans l'île Sf. Gheorghe et Sireasa, Pardina et Eracle dans l'île de Letea.

Après la Deuxième Guerre mondiale (T3), avec l'instauration du régime communiste, les interventions dans le delta s'intensifient. On passe à l'aménagement intensif des plaines alluviales. Le réseau des canaux a plus que doublé, un nombre important de digues sont érigées, entourant de vastes surfaces qui sont asséchées et complètement transformées. Dans les enceintes entourées par des digues l'accès d'eau est strictement contrôlé pour des raisons d'irrigation ou autres, tandis que, dans le reste du territoire, à cause des canaux creusés dans tous les sens, les flux ont été complètement perturbés. La construction de nombreux canaux peu profonds vers l'intérieur du delta peut également affecter la redistribution des sédiments dans le delta, piégeant potentiellement jusqu'à environ 10 % de la charge sédimentaire du Danube dans la plaine du delta (Giosan et al., 2013).

Il faut noter aussi les changements dans le bassin versant du Danube (T4) comme facteurs de contrôle anthropiques. Le régime sédimentaire du Danube a été considérablement perturbé et impacté par le grand nombre d'aménagements hydrauliques qui ont été construits sur le cours principal de la rivière et sur ses affluents surtout après 1960. On estime qu'à l'entrée du delta du Danube, le débit moyen de sédiments a diminué de 60 à 70 % depuis les années 1840 en raison d'un grand nombre de barrages construits depuis dans la région roumaine du Bas Danube d'où proviennent la plupart des apports de sédiments (Constantinescu & Giosan, 2017). Dans l'ensemble, les réservoirs et barrages régulant les débits du Danube, et la canalisation des méandres ont perturbé le débit naturel et la circulation des sédiments sur la zone côtière du delta du Danube (Dan et al., 2007), ce qui indique que l'équilibre sédimentaire et les fonctions de contrôle de l'érosion ont été fortement perturbés.

Après l'intervention de la CED au XIX^{ème} siècle, quand le bras de Sulina a été approfondi et raccourci de 91 à 64 km, entre 1982 et 1992, la canalisation du Bras Sf. Gheorghe a réduit sa longueur de 108 à 65 km après que les six méandres de son cours aient été corrigés (Cioacă, 2002, 2004). Cette canalisation a augmenté le volume et la vitesse du débit de la rivière, ainsi que la décharge sédimentaire, augmentant l'érosion et produisant des perturbations à grande échelle dans l'équilibre sédimentaire (Giosan et al., 1999 ; Uhel et al., 2010).

Avec la révolution roumaine de 1989 s'amorce une nouvelle période pour le delta (T5). La nature sauvage n'est pas devenue un champ cultivé. Aujourd'hui, le delta du Danube jouit d'une image où la naturalité est forte, entre vaste zone humide et réservoir de

biodiversité. Cette richesse fait l'objet de nouvelles attentions et un peu partout des politiques de renaturation voient le jour. L'idée est d'ouvrir les digues pour remettre en eau certaines parties du delta. Ce vaste mouvement, amorcé depuis une dizaine d'années, est à l'image de l'idéologie véhiculée actuellement en Occident. Finalement, comme le montre notre approche géohistorique, le delta du Danube continue de s'insérer au sein des réflexions idéologiques ambiantes. Le delta véhicule une image de réserve de nature et de biodiversité, mais notre regard géohistorique montre d'abord un territoire de confins, ballotté et gardant en lui la trace des multiples interventions humaines. Cette image d'un delta naturel est donc construite sur une naturalité anthropique héritée de plusieurs siècles d'interventions humaines (Groparu et al., 2018).

On ne peut plus parler d'une évolution du delta à l'intérieur des surfaces complètement transformées pour des buts piscicole, agricole ou forestiers, surfaces entourées par des digues insubmersibles et complètement coupées des flux liquides et solides transitant le delta.

La confrontation entre l'analyse SIG des transformations dans le delta pendant la période 1960-2010 d'une part, et les sources d'archives sur les aménagements piscicoles, agricoles et forestiers d'autre part, nous montre que les surfaces impactées dépassent les contours de ces aménagements.

Les paysages jeunes du delta du Danube sont fortement impactés par les interventions humaines récentes (derniers 150 ans), l'espace « naturel » du delta, classée au patrimoine mondial de l'UNESCO depuis 1991, étant largement modelé par les sociétés.

Toutefois, si les activités humaines ont un rôle majeur dans la modification hydro-morphologique des cours d'eau, les facteurs naturels constituent une autre cause d'ajustements importants (Jantzi, 2018). Durant les deux derniers siècles la variabilité hydro-climatique a été importante avec le passage d'un régime dominé par les crues durant le XIX^{ème} siècle et correspondant à la phase terminale du PAG, à un régime où les étiages se sont multipliés et sont devenus plus sévères à partir du XX^{ème} siècle (Erskine et Warner, 1998). La seconde moitié du XIX^{ème} siècle se caractérise par une crise torrentielle où les événements extrêmes se multiplient (Gob et al., 2008 ; Antoine, 2009).

Limites de l'approche méthodologique

Les résultats de l'approche de terrain reposent principalement sur une stratégie de sélection des sites à l'aide des images ortho-photos. Parfois les choix faits au préalable n'ont pas pu être respectés à cause du manque d'accessibilité et du niveau des eaux du Danube, une adaptation aux conditions du terrain s'imposant.

Une partie des carottages a été réalisée avec la gouge ouverte ce qui impliquait un échantillonnage sur place. Le pas d'échantillonnage de ces carottes a été plus grand que celui des carottes tubées dont l'ouverture et l'échantillonnage ont été effectués en laboratoire. De même, les carottages réalisés avec la gouge ouverte n'ont pas bénéficié de datation en raison du risque de contamination des échantillons pendant l'extraction de la carotte, le prélèvement ou le transport. Enfin, le nombre important d'échantillons analysés, 755 en granulométrie

laser et en perte au feu, associé parfois à quelques soucis techniques, a constitué une étape de travail assez chronophage.

Le recours aux archives cartographiques pour reconstituer les trajectoires d'évolution du delta du Danube présente plusieurs limites. Premièrement, la période de disponibilité des documents, ainsi que la dégradation de leur précision avec l'ancienneté, les objectifs des cartographes et leurs moyens techniques ne s'étant rapprochés de la réalité du terrain qu'à partir de la deuxième moitié du XIX^{ème} siècle. Deuxièmement, la dimension dynamique de l'évolution des cours d'eau en 3D, les éléments représentés sur les cartes restent des formes en plan, 2D, et ne permettent aucunement d'appréhender l'hydrosystème fluvial dans sa dimension verticale.

Dans la réalisation du SIG d'autres démarches se sont également avérées chronophages, comme le géoréférencement de plus de 200 cartes topographiques, ainsi que la digitalisation des éléments retenus pour notre analyse. Le changement d'échelle, 25 000/50 000/100 000, ainsi que de type de données, carte topographique/image ortho-photo, ont aussi posé des problèmes dans l'interprétation des résultats. La digitalisation des lacs sur les différents supports utilisés a été difficile, car dans ce milieu deltaïque les bords des lacs ne sont pas faciles à délimiter, car constitués d'une végétation qui évolue dans le temps et donc soumise à l'interprétation du cartographe. De ce fait, cette démarche d'analyse doit être perfectionnée afin de fournir un outil efficace et transposable pour la reconstitution des trajectoires d'évolution de cours d'eau à partir d'une utilisation mixte de documents cartographiques et d'images aériennes.

La complémentarité des deux approches (archives du sol/archives cartographiques) n'a pas donné des résultats comparables aux autres études de ce type réalisées récemment (Salomon, 2013 ; Lescure, 2015 ; David, 2016). Le croisement des données n'a pas pu être fait d'une part à cause d'un manque de productions cartographiques plus anciennes représentant l'intérieur du delta et, d'autre part, à cause du niveau supérieur des carottes, bouleversé soit par les interventions anthropiques, soit par la végétation deltaïque, et plus précisément par les racines du roseau qui peuvent descendre entre 0,5 et 1,7 m sous la surface (Rudescu et al., 1965).

Perspectives de recherche et d'application

Au terme de ce travail nous souhaiterions proposer les résultats obtenus aux acteurs de la gestion/restauration du delta du Danube. En effet ceux-ci pourraient y voir un support pour les futurs projets de re-naturalisation dans le delta. Dans ce sens une première perspective de prolongement de ce travail de recherche sera d'élargir le territoire analysé pour les transformations dans la période 1960-2010 à l'intégralité de la Réserve de la Biosphère Delta du Danube, territoire qui dépasse l'intégralité du delta, intégrant d'autres zones humides connectés au delta qui ont subi des transformations dans le passé comme la plaine d'inondation située en rive droite un peu en amont de l'apex du delta, ou le complexe lacustre situé au sud du delta.

Il conviendrait aussi d'enrichir la base de données cartographiques delta du Danube créée, ainsi que la collecte de nouvelles données d'archives et historiques, textuelles et cartographiques. Cela offrirait un bon support de travail aux futurs projets de recherche concernant l'environnement, la géographie ou l'histoire du delta du Danube, ou encore la connaissance de l'histoire complète et détaillée des interventions humaines sur ce territoire.

En parallèle, la collecte de nouvelles données de terrain pourrait permettre une meilleure connaissance de l'évolution de la partie fluviale du delta du Danube, notamment pour arriver à une meilleure caractérisation de l'évolution des bras Sulina et Chilia, du Canal Sontea, ainsi que de l'évolution de la dépression de Pardina. L'obtention de données concernant la période comprise entre le Moyen Âge central et le XIXe siècle, correspondant au PAG (1400-1900), pourrait également amener des éléments utiles à la compréhension du rôle de cette période dans la formation des paysages actuels du delta.

La carte générale des transformations du delta, produite à partir du croisement des trois éléments analysés, canaux, digues et lacs, pourrait constituer un support dans les futures missions de terrain pour choisir des sites de carottages moins impactés par les interventions humaines, pour peut-être trouver dans la partie supérieure des séquences sédimentaires des échantillons qui puissent se prêter aux analyses de laboratoire.

Références bibliographiques

Agoston, G., 2011, Military Transformation in the Ottoman Empire and Russia, 1500-1800, In : Exploration in the Russian and Eurasian History 12, 2, Spring, pp. 281-319.

Ailincăi, S.C., Mirițoiu, N., Soficaru, A., 2003, « O groapă cu oseminte umane atribuită culturii Babadag descoperită în nivelul precolonial de la Orgame (com. Jurilovca, jud. Tulcea) », ArhMold 26, pp. 307-324.

Ailincăi, S.C., 2013, Începuturile epocii fierului în Dobrogea. Studii și Cercetări de Istorie Veche și Arheologie, 64, (3-4), pp. 223-292.

Airinei, S., 1966, Cupluri de anomalii gravimetrice-magnetometrice deschise pe litoralul romanesc al Marii Negre, St. Si cerc. De Geol., Geofiz., Geogr., 5, 1.

Airinei, S., Pricajan A., 1969, Contributions géophysiques à la connaissance de l'évolution géologique et de la morphogenèse du delta du Danube, Lucr. Colocv. de hidrol. a deltelor, UNESCO, Bucarest.

Aksu, A.E., Hiscott, R.N., Yaltrak, C., 2016, Early Holocene age and provenance of a midshelf delta lobe south of the strait of Bosphorus, Turkey, and its links to vigorous Black Sea outflow. Mar. Geol. 380, pp. 113–137.

Allen, G.P., Mercier, F., 1987, Les deltas : sédimentologie et exploration pétrolière, Bull. Soc. géol. Fr., vol. III, n° 7, pp. 1247-1269.

Almazov, A.A., Bondar, C., Diaconu, C., Ghederim, V., Mihailov, A.N., Mita, P., Nichiforov, I.D., Rai, I.A., Rodionov, N.A., Stanescu, S., Stanescu, V., Vaghin, N.F., 1963, Zona de varsare a Dunarii. Monografie hidrologica, 396p.

Amoros, C., Petts, G.E., 1993, Hydrosystèmes fluviaux. Paris, Masson, 300p.

Angelescu, M., Avram A., 2014, Histria – un siecles de recherches. Materiale și Cercetări Arheologice S.N., 10, pp. 35–49.

Antipa, G., 1894, Lacul Razim Starea actuala a pescariilor din el si mijloacele de indreptare, Ministerul Agriculturii, Industriei, Comerciului si Domenielor, Imprimeria Statului, Bucuresti, 15 p.

Antipa, G., 1895, Studii asupra pescariilor din Romania, Imprimeria Statului, Bucuresti, 81 p.

Antipa, G. 1910, Regiunea inundabila a Dunarii. Starea ei actuala si mijloacele de a o pune în valoare, Bucuresti, Carol Göbl, 318 p.

Antipa, G., 1914, Câteva probleme științifice și economice privitoare la Delta Dunărei, Analele Academiei Române - Memoriile Secțiunii Științifice, vol. XXXVI, no. 6, pp. 61-134.

Antipa, G., 1916, Pescaria si pescuitul in Romania, Inst. de Arte Grafice Carol Göbl, Bucuresti, 793p.

Antipa, G., 1921. Dunarea si problemele ei Stiintifice, economice si politice, Academia Romana, Studii si cercetari VI, Bucuresti, Librariile « Cartea Romaneasca » si Pavel Surdu, 191p.

Antipa, G., 1932, Les principes de l'amélioration de la productivité du bas Danube. In Bulletin de la Section Scientifique de l'Académie Roumaine, volume XV, année 1932, n° 3-4, p. 1-19.

Antipa, G. 1941, Marea Neagră, Vol. I, Oceanografia, bionomia și biologia generală. Acad. Rom. Publ. Fond. „V. Adamachi”, București, 313p.

Anthony, E.J., 2015, Wave influence in the construction, shaping and destruction of river deltas: A review, Marine Geology, no. 361, pp.53-78.

Antoine, J.-M., 2009, L'histoire du climat par ses extrêmes. Sources géohistoriques et inondations dans les Pyrénées depuis le Petit Age Glaciaire, Archéologie du Midi Médiéval, 27, pp. 143-155.

Arbure, Z.C., 1898, Basarabia în secolul XIX, Institutul de Arte Grafice Carol Gobl, București, 789p.

Ardeleanu, C., 2012, Gurile Dunarii – O problema europeana. Comerț și navigație la Dunarea de jos în surse contemporane (1829-1853), Muzeul Brailei, Editura Istros, Braila.

Arnaud, F., Revel, M., Chapron, E., Desmet, M., Tribovillard, N., 2005, 7200 years of Rhône river flooding activity in Lake Le Bourget, France: a high-resolution sediment record of NW Alps hydrology. The Holocene 15 (3), pp.420-428.

Arnaud, F., 2012, Approches géomorphologiques historique et expérimentale pour la restauration de la dynamique sédimentaire d'un tronçon fluvial aménagé : le cas du Vieux Rhin entre Kembs et Breisach (France, Allemagne). Thèse de doctorat, Université de Lyon 2, France.

Arnaud-Fassetta, G., 1998, Dynamiques fluviales holocènes dans le delta du Rhône. Thèse de doctorat, Université de Provence (Aix-Marseille 1), France, 329p.

Arnaud-Fassetta, G., 2003, River channel changes in the Rhone Delta (France) since the end of the Little Ice Age: geomorphological adjustment to hydroclimatic change and natural resource management. Catena 51, pp.141-172.

Arnaud-Fassetta, G., 2011, L'histoire des vallées, entre géosciences et géoarchéologie. In : Hesnard, A., Marriner, N., Morhange, C. (Eds.), ArchéoMed-Paléomed. Géoarchéologie en Méditerranée. Mélanges offerts à Mireille Provansal. Méditerranée 117, pp. 25-34.

Astrade, L., Jacob-Rousseau, N., Bravard, J.-P., Allignol, F., Simac, L., 2011. Detailed chronology of mid-altitude fluvial system response to changing climate and societies at the end of the Little Ice Age (Southwestern Alps and Cévennes, France). Geomorphology 133, 100-116.

Bacanaru, I., 1964, Contribution à l'étude géographique des établissements ruraux du delta du Danube, Revue Roumaine de Géologie, Géo-physique et Géographie, T. VIII, pp. 27-31.

Bailie Fraser, J., 1836, dans Cernovodeanu, P., Busa, D., 2006, Calatori straini despre tarile romane in secolul al XIX-lea, Serie Noua, Vol.III, Editura Academiei Romane, Bucuresti, pp.539-560.

Balsam, W.L. and Deaton, B.C., 1991, Sediment dispersal in the Atlantic Ocean: evaluation by visible light spectra. Reviews in Aquatic Sciences 4, pp.411-447.

Balsam, W.L. and Deaton, B.C., 1996, Determining the composition of late Quaternary marine sediments from NUV, VIS, and NIR diffuse reflectance spectra *Marine Geology*, Volume 134, Issues 1-2, pp.31-55.

Balsam, W.L., Damuth, J.E. and Schneider, R.R., 1997, Comparison of shipboard vs shore-based spectral data from Amazon Fan cores: implications for interpreting sediment composition. *Ocean Drilling Program Science Volume Paper #155s*, pp. 193-215.

Balsam, W.L., Deaton, B.C., and Damuth, J.E., 1998, The effects of water content on diffuse reflectance spectrophotometry studies of deep-sea sediment cores. *Marine Geology*, Volume 149, Issues 1-4, August 1998, pp. 177-189.

Balsam, W.L., Deaton, B.C. and Damuth, J.E., 1999, Evaluating optical lightness as a proxy for carbonate content in marine sediment cores. *Marine Geology*, Volume 161, Issues 2-4, pp. 141-153.

Balsam, W.L., and Beeson, J.P., 2003, Sea-floor sediment distribution in the Gulf of Mexico. *Deep-Sea Research. Part I. Issue 12*. pp.1421-1444.

Barker, B., 1838, dans Cernovodeanu, P., Busa, D., 2006, Calatori straini despre tarile romane in secolul al XIX-lea, *Serie Noua, Vol.III*, Editura Academiei Romane, Bucuresti, pp.203-212.

Barranco, Jr., F.T., Balsam, W.L. and Deaton, B.C., 1989, Quantitative reassessment of brick red lutites: Evidence from reflectance spectrophotometry. *Marine Geology*, Volume 89, Issues 3-4, pp. 299-314.

Barrell, J., 1912, Criteria for the recognition of ancient delta deposits: *Geological Society of America, Bulletin*, v. 23, p. 377-446.

Bard, E., Hamelin, B., Arnold, M., Montaggioni, L., Cabioch, G., Faure, G., Rougerie, F., 1996, Deglacial sea-level record from Tahiti corals and the timing of global meltwater discharge, *Nature*, 382, pp. 241-244.

Beauchamp, J., 2017, *Sédimentologie*,

Beaumont, F., 2008, Les Lipovènes du delta du Danube. *Chronique d'une société théocratique russe des Balkans, Balkanologie*, Vol. X, no. 1-2.

Benecke, N., Hansen, S., Nowacki, D., Reingruber, A., Ritchie, K., Wunderlich, J., 2013, Pietrele in the Lower Danube region: integrating archeological, faunal and environmental investigations, *Documenta Praehistorica XL*, pp.175-193.

Berciu, D., 1966, *Cultura Hamagia*, București.

Beug, H.-J., 2004, *Leitfaden der Pollenbestimmung für Mitteleuropa und angrenzende Gebiete*. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München, 542p.

Bhattacharya, J.P., Walker, R.G., 1992, Deltas, dans Walker, R.G., and James, N.P., eds., *Facies Models: Response to Sea-Level Change: Geological Association of Canada*, pp. 157-177.

Bhattacharya, J.P., Giosan, L., 2003, Wave-influenced deltas: geomorphological implications for facies reconstruction. *Sedimentology*, v. 50, pp. 187-210.

Bhattacharya, J.P., 2006, In : Facies Models Revisited, Society for Sedimentary Geology, Eds Walker, R.G. & Posamentier, H., Special Publication 84, Society of Economic Paleontologists and pp.237-292.

Bilici, Faruk, 2013, « Le Danube, les Ottomans et le *Seyahatnâme* d'Evliyâ Çelebi », Cahiers balkaniques, nr.41, mis en ligne le 19 mai 2013.

Birca, Gh. I., 1948, Ameliorarea integrala a Insulei Letea, Imprimeria Nationala, Bucuresti, 153p.

Blott, S.J., Pye, K., 2001, GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. Earth Surf. Proc. Land. 26, pp.1237-1248.

Boia, L., 1997, Miturile comunismului românesc, Editura Universității din București, Bucuresti, 371p.

Boia, L., 2003, La Roumanie : Un pays à la frontière de l'Europe, Paris, Ed. Les Belles Lettre, 416 p.

Boia, L., 2009, Grigore antipa (1867-1944). Germanofiliile : elita intelectuală românească în anii primului război mondial, ed. Humanitas, Bucuresti 2010, pp. 136-142.

Bois-Le-Comte, C. J. E., 1834, dans Cernovodeanu, P., Busa, D., 2006, Calatori straini despre tarile romane in secolul al XIX-lea, Serie Noua, Vol.III, Editura Academiei Romane, Bucuresti, pp.96-182.

Bondar, C., 1996, Aspects hydrologiques dans « l'étude de cas » du Delta du Danube, Geo-Eco-Marina, RCGGM 1/1996 Danube Delta – Black Sea System under Global Change Impact, pp.48-52.

Bondar, C., Stiuca, R., 1996, Effets et causes de l'impact anthropique dans le Delta du Danube. Rencontre Hydrologique Franco-Roumain. Deuxieme assemblee, Tulcea, 6-9 septembre 1993, UNESCO, Paris, pp. 381-388.

Bondar, C., Blendea, V., 2000, Water and sediment transport by the Danube into the BlackSea during 1840-1995. In: IOC Workshop Report No. 145, pp. 85–163.

Bondar, C., Panin, N., 2001, The Danube Delta hydrologic database and modelling, Geo-Eco-Marina, 5-6/2000-2001, pp.5-52.

Bondar, C., 2004a, In: The Global Morphological Balance of the Danube Delta Coastal Area within 1857-2002. Sci. Ann. Danube Delta Inst., pp. 91–98 ISSN 1583-6932.

Bondar, C., 2004b, The state and tendency of the hydromorphological processes of the Danube and Danube Delta. Euro-EcoGeoCentre – Romania –Workshop 1: “Environmental problems of the Lower Danube, including the Danube Delta, and new ideas for an Integrated Observing and Forecasting System in the Lower Danube, Danube Delta and the Black Sea”. Abstracts volume, Bucharest, Romania.

Bony, G., Morhange, C., Marriner, N., Baralis, A., Kaniewski, D., Rossignol, I., Lungu, V., 2015, History and influence of the Danube delta lobes on the evolution of the ancient harbour of Orgame (Dobrogea, Romania), Journal of Archaeological Science, vol. 61, pp. 186-203.

Boyes, D.M., 1999, Morphometry, Spatial Analysis and Development of Lakes on the Mackenzie Delta Plain, Faculty of Graduate Studies, The University of Western Ontario, London, Ontario, Canada, 310 p.

Boué, A., 1840, La Turquie d'Europe ; observations sur la géographie, la géologie, l'histoire naturelle, la statistique, les mœurs, les coutumes, l'archéologie, l'agriculture, l'industrie, le commerce, les gouvernements divers, le clergé, l'histoire et l'état de cet empire, Chez Arthus Bertrand, Editeur, Paris, 525p.

Boulvain, F., 2017, Eléments de Sédimentologie et de Pétrologie sédimentaire, Cours, Université de Liège, Faculté des Sciences, Département de Géologie, www.geolsed.ulg.ac.be.

Bourgou, M., Miossec, J.M., 2010, « Les littoraux - Enjeux et dynamiques », Presses Universitaires de France, Paris, 295p.

Brandt, S.A., 2000, Classification of geomorphological effects of dams. *Catena* 40, pp.375-401.

Branzan, G., Cioaca, E., Dragoi, I.-J., 2008, Apele subterane, In : Gâstescu, P., Ştiucă, R., « Delta Dunarii - rezervatie a biosferei », Editura CD Press, Bucureşti, pp.132-134.

Bratescu, C., 1912, Delta Dunarii. Schita morfologica, *Buletinul Societatii Regale Romane de Geografie*, XXX.

Bratescu, C., 1921, Contributii la studiul deltei dunarene, dans *Buletinul Societatii Regale Romane de Geografie*.

Bratescu, C., 1921. Contributii la studiul Deltei Dunarii. *Ann. Dobroudja* 3, pp. 380-383.

Bratescu, C., 1922, Delta Dunarii. Geneza si evolutia sa morfologica, dans *Buletinul Societatii Regale Romane de Geografie*.

Brătianu, G.I., 1988, Marea Neagră, Volumul I, Traducere de Michaela Spinei, după „La mer Noire”, volum publicat de Societas Academica Dacoromana, la München, în 1969, după manuscrisul original scris în franţuzeşte de către autor, Bucureşti

Bratianu, G.I., 1999, Marea Neagră de la origini până la cucerirea otomană, ediția a II-a rev., Ed. Polirom, Iași, 366 p.

Bravard, J.P., 1983, Les sédiments fins des plaines d'inondation dans la vallée du Haut-Rhône. *Revue de géographie alpine* 71, 4, pp.363-379.

Bravard, J.-P., 1989, La métamorphose des rivières des Alpes françaises à la fin du Moyen-Âge et à l'Epoque Moderne. *Bulletin de la Société Géographique de Liège* 25, pp.145-157.

Bravard, J.-P., Petit, F., 1997, Les cours d'eau : dynamique du système fluvial. Armand Colin, Paris, 222 p.

Bravard, J.P., Peiry, J.L., 1999, The CM pattern as a tool for the classification of alluvial suites and floodplain along the river continuum. In: Marriot, S.B., Alexander, J. (Eds), *Floodplains: Interdisciplinary approach*. Geological Society, London, Special publications 163, pp. 259-268.

Bravard, J.-P., Lesueur, P., Marion, L., 2000, La dynamique des flux, la retention et le renouvellement des sédiments. Fustec, E., Lefeuvre, J.-C. et coll (eds.), Fonctions et valeurs des zones humides, Dunod, Paris, pp.107-128.

Bravard, J.-P., 2001, Un enjeu hydropolitique et environnemental majeur pour la Chine : le transfert Sud-Nord. Hérodote, 102, pp.57-71.

Bravard, J.-P., 2002, Les paléo-environnements fluviaux et lacustres depuis 15000 ans. Conclusions méthodologiques et perspectives. In : Bravard, J.-P., Magny, M. (Éds.), Histoire des rivières et des lacs de Lascaux à nos jours, Errance, Paris, pp. 303-312.

Bravard, J.P., Magny, M., 2002, Les fleuves ont une histoire. Paléo-environnement des rivières et des lacs français depuis 150000 ans. Editions Errance, Paris, 312 p.

Brezeanu, G., Cioboiu O., 2010, Muzeul Olteniei Craiova. Oltenia, Studii si comunicari. Stiintele Naturii, T.26, n°2, pp.313-315.

Bridge, J.S., Leeder, M.R., 1979, A simulation model of alluvial stratigraphy, *Sedimentology* 26, pp. 617-644.

Brilly, M., 2010, Hydrological Processes of the Danube River Basin, Perspectives from the Danubian Countries, Edition Springer Netherlands, Dordrecht, 436p.

Brookes, A., 1988. Channelized Rivers: Perspectives for Environmental Management. J. Wiley and Sons, Chichester, U.K..

Brotton, J., 2012, A history of the world in twelve maps, Penguin Books, London, 514 p.

Brotton, J., 2014, Great Maps: the world's masterpieces explored and explained, Dk Smithsonian.

Boyd, R., Dalrymple, R. and Zaitlin, B.A., 1992, Classification of clastic coastal depositional environments. *Sedimentary Geology*, 80, pp.139–150.

Brown, S., Nicholls, R.J., 2015, Subsidence and human influences in mega deltas: The case of Ganges-Brahmaputra-Meghna, *Science of the Total Environment* no. 527-528, pp.362-374.

Büdel, J., 1982, Climatic Geomorphology, Translated by Lenore Fischer and Detlef Busche. Princeton, N.J.: Princeton University Press.

Bulandra, M., Visinescu, I., 2014, Incintele indiguite la Dunare – probleme actuale si perspectiva, Simpozionul statiunii de cercetare-dezvoltare agricola, Braila.

Bule, I., 2010, Dobrogea - O scurta istorie.

Bulei, I., 2011, Romaniaii în secolele XIX-XX. Europeanizarea, Editura Litera, București, 317p.

Buzatu, G., Dobrinescu, V.F., Dumitrescu, H., 1998, România și primul război mondial, Editura Empro, București.

Buzoianu, L., 2001, Civilizația greacă în zona vest-pontică și impactul ei asupra lumii autohtone (sec. VII-IV a.Chr.). Constanța, Ovidius University Press.

Caldwell, R.L., 2013, The effect of grain size on river delta process and morphology, thèse de doctorat, Boston College, The Graduate School of Arts and Sciences, Department of Earth and Environmental Sciences, 62p.

Caputo, M., Pieri, L., Unghendoli, M., 1970, Geometric investigation of the subsidence in the Po Delta. *Boll. Geofis. Teor. Appl.* 14, pp.187–207.

Carozza, J.M., Micu, C., Mihail, F., Carozza, L., 2010, « Landscape change and archeological settlements in the lower Danube valley and from early Neolithic to Chalcolithic time : A review », *Quaternary International*, pp. 1-11.

Carozza J.M., 2011, La formation du delta du Danube : une histoire néolithique, dans *Société et environnement dans la zone du Bas Danube durant le Ve millénaire avant notre ère*. Editura Universității «Alexandru Ioan Cuza», Iași, 415 p.

Carozza J.M., Micu C., Mihail F. & Carozza L., 2012 - Landscape change and archaeological settlements in the lower Danube valley and delta from early Neolithic to Chalcolithic time : A review. *Quaternary International*, 261, pp. 21-31.

Carozza, J.M., Puig, C., Odiot, T., Valette, P., Passarrius, O., 2012, Lower Mediterranean plain accelerated evolution during the Little Ice Age: Geoarchaeological insight in the Tech basin (Roussillon, Gulf of Lion, Western Mediterranean). *Quaternary International* 266, pp.94-104.

Carozza J.M., Carozza L., Radu V., Levêque F., Micu C., Burens A., Opreanu G., Haita C., Danu M., 2012, Aftermath of the flooding : Geomorphological evolution of the Danube Delta after the Black Sea – Mediterranean reconnection and its implications on Eneolithic settlements , *Water resources and wetlands Conference*, Tulcea.

Carozza, J.M., Carozza, L., Radu, V., Leveque, F., Micu, M., Burens-Carozza, A., Opreanu, G., Haită, C., Danu, D., 2013. Apres le deluge: évolution géomorphologique du delta du Danube après la reconnexion mer Noire–mer Méditerranée et ses implications sur le peuplement eneolitique-chalcolithique. *Quaternaire*. 24(4). Association française pour l’Etude du Quaternaire, pp. 503–512.

Carozza, L., Bem, C., Micu, C., 2011 « Société et environnement dans la zone du Bas Danube durant le 5ème millénaire avant notre ère, Editura Universității „Alexandru Ioan Cuza” Iași, Iași – București, 413p.

Carozza L., Micu C., Carozza J.M., 2011, Préhistoire du delta du Danube : L’habitat chalcolithique de Taraschina, dans *Société et environnement dans la zone du Bas Danube durant le Ve millénaire avant notre ère*. Editura Universității «Alexandru Ioan Cuza», Iași, 415 p.

Carozza, L., Micu, C., Haita, C., Ailincăi, S., Burens, A., Mihail, F., Carozza, J.-M., 2014, Reconnaissance par carottages de la stratigraphie des habitats pluri-stratifiés de Taraschina dans le delta du Danube. *Dacia* N.S. 58, pp. 13-27.

Carozza, L., Micu, C., 2016, Archéologie du delta du Danube, Rapport de mission archéologique sous-commission Europe-Maghreb rapport 2016– troisième année, *Société et environnement durant le Néolithique et les âges des métaux dans le delta du Danube (Roumanie)*, 130p.

Carozza, L., Micu, C., 2017, Archéologie du delta du Danube, Rapport de mission archéologique sous-commission Europe-Maghreb bilan quadriennal 2014-2017, *Société et*

environnement durant le Néolithique et les âges des métaux dans le delta du Danube (Roumanie), 536p.

Castanet, C., Camerlynck, C., Vella, M.A., Garcin, M., Burnouf, J., 2007, Approche géophysique, sédimentologique et géomorphologique intégrée pour la caractérisation des dynamiques fluviales de la Loire survenues durant les derniers 25000 ans (Val d'Orléans, Loiret). In : Actes du 6e colloque Géophysique des sols et des formations superficielles, 25-26 septembre 2007, Bondy, France, GEOFCAN, pp.99-102.

Castellan, G., 1999, Histoire des Balkans, XIVe-XXe siècle, Fayard, 643 p.

Cazenave, A., Lombard, A., Llovel, W., 2008, Present-day sea level rise: A synthesis, *Comptes-rendu Geosciences*, 340, 11, pp. 761-770.

Cazenave, A., Llovel, W., 2010, Contemporary Sea Level Rise, *Annual Review of Marine Science*, 2, pp. 145-173.

Cepleanu, S.P., 1922, The Black Sea and low-Danube Limans, survey maps created by the Royal geographic military Institute under the command of general Constantin Teodorescu & pr. N.A. Constantinescu, assembled, cleaned & draw by Spiridon Ion Cepleanu.

Cernovodeanu, P., Busa, D., 2006, Calatori straini despre tarile romane in secolul al XIX-lea, Serie Noua, Vol.III, Editura Academiei Romane, Bucuresti, 1007p.

Certini, G., Scalenghe, R., 2011, Anthropogenic soils are the golden spikes for the Anthropocene. *The Holocene* 21, pp. 1269-1274.

Chorley, R.J., 1962, *Geomorphology and General Systems Theory*. U.S. Geol. Survey Prof. Paper 500-B, 10p.

Chrismar, F.S., 1833, dans Cernovodeanu, P., Busa, D., 2006, Calatori straini despre tarile romane in secolul al XIX-lea, Serie Noua, Vol.III, Editura Academiei Romane, Bucuresti, pp.72-94.

Chocat, B., 2013, Ingénierie écologique appliquée aux milieux aquatiques. Pourquoi ? *Coment ?*, ASTEE, 357p.

CIJ, 2009, Communiqué de presse de la Cour internationale de Justice concernant de la délimitation maritime en mer Noire (Roumanie contre Ukraine), www.icj-cij.org

Cioacă, E., 2002, In: *Ecological Reintegration of the Danube Delta Biosphere Reserve Degraded Ecosystems into the Natural Ones*. *Sci. Ann. Danube Delta Inst.*, pp.35–39.

Cioacă, E., 2004, Morpho-hydrographic changes within the Danube Delta Biosphere Reserve ecological reconstruction zones – Babina zone case study. *Sci. Ann. Danube Delta Inst.*, pp.99–106

Ciocardel R., 1938, La circulation generale des eaux de la mer Noire, *Buletinul Societatii Regale Romane de Geografie*, LVI.

Clark, J. A., Farrell, W. E., Peltier, W. R., 1978, Global changes in postglacial sea level: A numerical calculation, *Quaternary Research*, 9, pp. 265-287.

Clerici, A., Perego, S., Chelli, A., Tellini, C., 2015, Morphological changes of the floodplain reach of the Taro River (Northern Italy) in the last two centuries. *J. Hydrol.* 527, pp. 1106–1122.

Colcer, I., Magureanu, V., 1998, File din istoria Dobrogei, Inspectoratul pentru cultura al Judetului Tulcea, 57p.

Coleman, J.M., Wright, L.D., 1975, Modern river deltas: variability of processes and sand bodies, in Broussard, M.L., ed., Deltas, Models for Exploration: Houston, Houston Geological Society, p. 99–149.

Coman, V., Yenikale, A., 2015, Dobrogea in izvoare cartografice otomane, sec.XVI-XIX, Editura Etnologica, Bucuresti, 108p.

Combes, F., 1989, Restauration des terrains en montagne. Du rêve à la réalité. Rev. For. Fr. XLI, 2, pp.91-106.

Commission Européenne du Danube, 1858, Rapport de la commission technique internationale convoquée à Paris pour l'examen des questions relatives à l'amélioration des bouches du Danube, Imprimerie Impériale, Paris.

Commission Europeenne du Danube, 1867, Plans comparatif de l'embouchure et de différentes sections fluviales du bras de Soulina et cartes generales du Delta indiquant l'état de ce bras du Danube anterieurement aux travaux d'amelioration execute par la Commission Europeenne conformement a l'article 16 du Traite de Paris du 30 mars 1856 d'apres les projets de sir Charles A. Hartley, son Ingenieur dirigeant et faisant connaitre les changements successifs produits par ces travaux avec une carte generale du delta du Danube, Leipzig, F.A. Brockhaus.

Commission Europeenne du Danube, 1874, Cartes du delta du Danube et plans comparatifs de l'embouchure et de quelques sections fluviales du bras de Soulina indiquant les derniers travaux qui y ont ete executees par la Commission Europeenne d'apres les projets de sir Ch. A. Hartley, son Ingenieur dirigeant, faisant suite au Recueil de plan comparatifs publies par la Commission en 1867, Leipzig, F.A. Brockhaus, 115p.

Commission Europeenne du Danube, 1887, Cartes du delta du Danube et plans comparatifs de l'embouchure et de quelques sections fluviales du bras de Soulina indiquant les derniers travaux qui y ont ete executees par la Commission Europeenne, Leipzig, F.A. Brockhaus.

Commission Europeenne du Danube, 1925, Rapport de de l'ingénieur en chef E.T. Ward sur les travaux dans le fleuve et à l'embouchure, Galati, 38p.

Commission Européenne du Danube (CED), 1931, La Commission Européenne du Danube et son œuvre de 1956 à 1931, Paris, Imprimerie Nationale, 526 p.

Commission Europeenne du Danube, 1939, Compte-rendu de l'ingénieur en chef K. Magnussen, Sulina, 16p.

Comsa, E., 1971, Neoliticul judetului Tulcea, Peuce, 2, pp.11-18.

Constantinescu, S., 2015, Various Approaches to the Danube Delta From Maps to Reality, pp.155-183, dans Iordachi C. and Van Assche K., The Biopolitics of the Danube Delta Nature, History, Policies, Lexington Books, 452p.

Constantinescu, S., Giosan, L., 2017, Marginal deltaic coasts in transition: From natural to anthropogenic along the southern Romanian cliffed coast. Anthropocene

Constantinescu, S., Tanasescu, M., 2018, Simplifying a deltaic labyrinth : anthropogenic imprint on river deltas, *Revista de geomorfologie*, Nr. 20, pp.66-78.

Cotet, P., 1960, Evolutia morfohidrografica a deltei Dunarii (O sinteza a studiilor déjà existente si o noua interpretare), dans *Probl. De geogr.*, vol. VII.

Cotet, P., 1969, *Delta Dunarii – geneza si evolutie*, Peuce, I.

Cotet, P., 1971, *Delta Dunarii – geneza si evolutie*, dans *Peuce I Studii si comunicari de stiintele naturii sustinute la colocviul delta dunarii*, Tulcea, 1-4 iunie 1969, pp.17-46.

Craciunescu, V., Rus, I., Constantinescu, St., Ovejanu, I., Bartos-Elekes, Z., 2011, « Planuri Directoare de Tragere », geo-spatial.org.

Craciunescu, V., 2012, « Hartile sovietice 1:50.000 reproiectate in Stereo 70 », geo-spatial.org

Crutzen, P.J., Stoermer, E.F., 2000, *The Anthropocene*. *Global Change News* l. no.41, pp. 17-18.

Crutzen, P.J., 2002. *Geology of mankind: the Anthropocene*. *Nature* 415, 23p.

Dalrymple, R.W., 1999, Tide-dominated deltas, do they exist or are they all estuaries?, *American Association of Petroleum Geologists, Annual Convention, San Antonio, Texas, Official Program with Abstracts*, p. A29.

Danu, M., Carozza, L., Carozza, J.M., Messenger, E., Burens, A., Micu, C., 2016, *Landscape transformations and archaeological settlements in the Upper Danube Delta during Early to Middle Holocene : a palaeoecological insight (7.000-5.000 BP Chalcolithic and Bronze Age)*, *Central and Eastern Europe Paleoscience Symposium: from local to global*, Cluj.

David, M., 2016, *Dynamique fluviale de la Garonne à l'Anthropocène Trajectoire d'évolution du tronçon fluvial entre les confluences de l'Ariège et du Tarn (Garonne toulousaine, 90 km)*, thèse de doctorat, Université de Toulouse, 284p.

DCE, 2000, *Directive no.2000/60/CE du 23/10/00 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau*, www.ineris.fr.

De Martonne, E. 1920, *Essai de carte ethnographique des pays roumains*. In: *Annales de Géographie*, t. 29, n°158, pp. 81-98.

De Martonne E., 1931. *Europe centrale, II partie*, Paris, A. Colin.

Dean, W.E., 1974, Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: comparison with other methods. *J. sediment. petrol.* 44, 1, pp. 242-248.

Dearing, J.A., 1994. *Environmental magnetic susceptibility: using the Bartington MS2 system*. Chi Publishing, Kenilworth, 111 p.

Dearing, J.A., Hay, K.L., Baban, S.M.J., Huddleston, A.S., Wellington, E.M.H., Loveland, P.J., 1996, Magnetic susceptibility of soil: an evaluation of conflicting theories using a national data set. *Geophysical Journal International* 127, pp. 728-734.

Deaton, B.C. and Balsam, W.L., 1991, Visible spectroscopy-a rapid method for determining hematite and goethite concentration in geological materials. *Journal of sedimentary Petrology* 61, pp. 628-632.

Debret, M., 2005, Sédimentologie de la grande carotte du lac du Bourget : Implications paléoclimatiques et paléohydrologiques depuis 11000 ans. Mémoire Master 2 recherche Géosciences des milieux sédimentaires, Université de Lille 1.

Debret, M., Desmet, M., Balsam, W., Francus, P., et Laj, C., 2005, Spectrophotometer analysis of Holocene sediment from an anoxic fjord: Saanich Inlet, British Columbia, Canada. 25-29 April 2005, Wien, Austria. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 7, 00586, 2005 SRef-ID: 1607-7962.

Debret, M., D. Sebag, M. Desmet, W. Balsam, Y. Copard, B. Mourier, A.-S. Susperregui, F. Arnaud, I. Bentaleb, E. Chapron, E. Lallier-Vergès, T. Winiarski, 2011 Spectrocolorimetric interpretation of sedimentary dynamics : The new « Q7/4 diagram », *Earth-Science Reviews*. Faegri, K., Iversen, J. 1989, *Textbook of pollen analysis*, Publisher John, Wiley and Sons, Chichester, 328p.

Deletant, D., 2006, România sub regimul comunist, Fundația Academia Civică, București, 286p.

Denize, E., Mata, C., 2005, România comunistă. Statul și propaganda 1948-1953, Editura Cetatea de Scaun, Târgoviște, 422p.

Desjardins, E., 1868, Exposé des résultats géographiques et archéologiques de son Voyage dans la région du bas Danube. In: *Comptes rendus des séances de l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres*, 12^e année, 1868. pp. 40-62.

Dimitriu, R., 2012, Geodynamic and hydro-geological constraints regarding the extension of the prospective archaeo-cultural area within the northern Romanian coastal zone, *Quaternary International* 261, pp. 32-42.

Dominguez, J.M.L., 1996, The São Francisco strandplain: a paradigm for wave-dominated deltas? dans De Baptist, M., and Jacobs, P., eds., *Geology of Siliciclastic Shelf Seas: Geological Society of London, Special Publication 117*, pp. 217–231.

Domokos, M., Neppel, F. and Somogyi, S. (2000) Paläogeographische Geschichte der Donau und ihres Einzugsgebietes. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 44(4), pp.172–183.

Dorondel, S., Mitroi, V., 2017, Nature, state and conservation in the Danube Delta Turning fishermen into outlaws, in: Wilko Graf von Hardenberg, Matthew Kelly, Claudia Leal, Emily Wakild (Eds.), *The Nature State: Rethinking the History of Conservation*, Routledge, London, 2017.

Douglas, B.C, Peltier, W.R., 2002, The puzzle of global sea-level rise, *Physics today*, 55, pp. 35-40.

Dimitriu, R.G., Sava, C. S., 2007, Consideratii asupra proceselor geodinamice actuale din Dobrogea – O pledoarie in favoarea realizarii « poligonului geodinamic Dobrogea », In: *Hazard Natural: EvenimenteTsunami în Marea Neagră (Natural Hazard: Tsunami Events in the Black Sea)*, Edition: 2007, Publisher: INCD GEOECOMAR, Editors: Oaie, Gh., pp.62-71.

Driga, B.V., 2004, Delta Dunarii – Sistemul circulatiei apei, Academia Romana, Institutul de Geografie, Casa cartii de stiinta, Cluj Napoca, 255p.

Driga, B.V., 2008, The hidrological relationship between Danube arms end lake complexis in the Danube delta, Lakes, reservoirs and ponds, vol. 1-2: pp. 61-71.

Ecrins v1.1 EEA 2012, European Environment Agency (EEA). 2012. EEA Catchments and Rivers Network System (ECRINS) v1.1. Available from <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/european-catchments-and-rivers-network>.

Echim, A., 1995, Conditia populatiei din rezervatia Biosferei Delta Dunarii, LEX

Edwards, R.L., Beck, J.W., Burr, G.S., Donahue, D.J., Chappell, J.M., Bloom, A.L., Druffel, E.R., Taylor, F.W., 1993, A large drop in atmospheric $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ and reduced melting in the Younger Dryas, documented with ^{230}Th ages of corals, *Science*, 260, pp. 962-968.

Ekrem, M. A., 1994, Din istoria turcilor dobrogeni, Editura Kriterion, București.

Elliott, T., 1974, Interdistributary bay sequences and their genesis, *Sedimentology* 21, pp.611-622.

Elliott, T., 1986, Deltas, dans : *Sedimentary Environments and Facies* (Ed. Reading, H. G.). Blackwell Scientific Publications, Oxford, pp.113-154.

Engelhardt, 1870, « La Question des embouchures du Danube, la navigation du fleuve et la commission instituée par le congrès de Paris » *La Revue Des Deux Mondes*, T. 88.

Ericson, J.P., Vörösmarty, C.J., Lawrence Dingman, S., Ward, L.G., Meybeck, M., 2006, Effective sea-level rise and deltas: Causes of change and human dimension implications, *Global and Planetary Change*, No. 50, pp. 63–82.

Erskine, W.D., 1992, Channel response to large scale river training works: Hunter river, Australia. *Regul. River* 7, pp. 261–268.

Erskine, W.D., Warner, R.F., 1998, Further assessment of flood and drought-dominated regimes in south-eastern Australia, *Australian Geographer*, 29(2), pp. 257-261.

Fægri, K., Iversen, J., 1989, *Textbook of pollen analysis*, Wiley, Chichester, 328 p.

Fairbanks, R.G., 1989, A 17,000-year glacio-eustatic sea level record: influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep-ocean circulation, *Nature*, 342, pp. 637-642.

Fairbridge, R.W., 1961, Eustatic changes in sea level. In Ahrens L.H, Press F., Rankama K., Runcom S.K., *Physics and Chemistry of the Earth* 4, pp.99-185.

Farrel, W.E., Clark, J.A., 1976, On postglacial Sea level, *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 46, 3, pp.647-667.

Fielding, C.R., Trueman, J., Alexander, J., 2005a, Sedimentology of the modern and Holocene Burdekin River delta of North Queensland, Australia—Controlled by river output, not by waves and tides, dans Giosan, L., and Bhattacharya, J.P., eds., *River Deltas—Concepts, Models, and Examples: SEPM, Special Publication* 83, pp. 467–496.

Fielding, C.R., Trueman, J., Alexander, J., 2005b, Sharp-based mouth bar sands from the Burdekin River Delta of northeastern Australia: extending the spectrum of mouth bar facies, geometry, and stacking patterns: *Journal of Sedimentary Research*. v. 75. pp. 55–66.

Filip, F., Giosan, L., 2014, Evolution of Chilia lobes of the Danube delta: Reorganization of deltaic processes under cultural pressures, *Anthropocene*, 47.

Filitti, G.P., Marinescu, B., Radulescu-Zoner, S., Stroia M., Cernovodeanu, P., 2004, Calatori straini despre tarile romane in secolul al XIX-lea, Serie Noua, Vol.I, Editura Academiei Romane, Bucuresti, 1009p.

Folk, R.L., Ward, W.C., 1957, Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters, *Journal of Sedimentary Petrology*, 27, pp.3-26.

Frissel, C., Liss, W., Warren, C., Hurley, M., 1986, A hierarchical framework for stream habitat classification: viewing streams in a watershed context, *Environmental Management* 10 (2), pp.199-214.

Frunză, V., 1999, Istoria comunismului în România, Editia aIIIa, Editura EVF, Bucuresti, 581p.

Galloway, W.E., 1975, Process framework for describing the morphological and stratigraphic evolution of deltaic depositional systems: in Broussard, M.L., ed., *Deltas*, 2nd. ed: Houston Geol. Soc., Houston, Texas, pp. 87-98.

Garnier, A., 2013, La dynamique d'un système fluvial et des zones humides associées en Afrique soudano-sahélienne au cours de l'Holocène – Approche géomorphologique et biogéographique – L'exemple du Yamé au Mali, thèse de doctorat, 464p.

Garnier, J., Billen, G., Hannon, E., Fonbonne, S., Videnina, Y., Soulie, M., 2002, Modelling the Transfer and the Retention of Nutrients in the Drainage Network of the Danube River, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol.54, no.3, pp.285-308.

Garrigues, G., L., 1957, The European Commission of the Danube: An Historical Survey, Division of Social Sciences, College of Letters and Science, University of California, Riverside.

Gâstescu, P., 1971, Caracteristici morfogenetice si hidrologice ale lacurilor din Delta Dunarii, dans Peuce I Studii si comunicari de stiintele naturii sustinute la colocviul delta dunarii, Tulcea, 1-4 iunie 1969, pp.73-81.

Gastescu P., Oltean M., Nichersu I., Constantinescu A., 1998, Ecosystems of the Romanian Danube Delta Biosphere Reserve, Lelystad : RIZA, DDRNI, Institut de Géographie de Bucarest, Institut de Biologie de Bucarest, 33p.

Gâstescu, P., Ştiucă, R., 2008, « Delta Dunarii - rezervatie a biosferei », Editura CD Press, Bucureşti, 400p.

Gastescu, P., 2017, The Danube – hydrographic polarisation european axis. State-of-the-art, *Riscuri si catastrofe*, nr. XVI, vol. 20, nr. 1, pp.9-23.

Gauttier, Pierre Henrie, 1851, Plan du Danube depuis ses Embouchure dans la Mer Noire jusqu'à Galats, dans Recueil des plans des ports & rades de la Mer Méditerranée de la Mer Noire & dela Mer d'Azof, Jh. Maistre, Hydrogr. Editeur, Marseille.

Gavrilas, C., 2018, Cum a crescut numarul de turisti in Delta Dunarii. « Romanii invata sa faca din nou concedii in tara », *adevarul.ro*, mise en ligne 6 septembre 2018.

Georgescu, T., 1993, România între Yalta și Malta, Casa de Editură și Presă Sansa, București, 328p.

Geymet, B., 1838, dans Cernovodeanu, P., Busa, D., 2006, Calatori straini despre tarile romane in secolul al XIX-lea, Serie Noua, Vol.III, Editura Academiei Romane, Bucuresti, pp.732-747.

Ghenea, C., Mihailescu, N., 1991, Palaeogeography of the lower Danube valley and the Danube delta during the last 15 000 years. In: Starkel, L., Gregory, K.J., Thornes, J.B. (Eds.), Temperate Palaeohydrology. Wiley & Sons, Chichester, pp. 343-363.

Gilbert, G.K., 1885, The topographic features of lake shores: U.S. Geological Survey, 5th Annual Report (1883–1884), pp. 69–123.

Gilbert, G.K., 1890, Lake Bonneville, Monography 1, U.S. Geological Survey, Washington, 438p.

Giosan, L., Bokuniewicz, H., Panin, N., Postolache, J., 1999, Longshore sediment transport pattern along the Romanian Danube Delta Coast. J. Coast. Res. 15 (4), pp.859–871.

Giosan, L., Donnelly, J. P., Vespremeanu, E., Bhattacharya, J. P., Olariu, C., Buonaiuto, F. S., 2005, River delta morphodynamics : examples from the Danube Delta, River Deltas-Concepts, Models, and Examples, Society for Sedimentary Geology, Special Publication, No. 83, pp.393-411.

Giosan, L., Donnelly, J.P., Constantinescu, S., Filip, F., Ovejano, I., Vespremeanu-Stroe, A., Vespremeanu, E., Duller, G.A.T., 2006. Young Danube delta documents stable Black Sea level since the middle Holocene: Morphodynamic, paleogeographic, and archaeological implications, Geology, vol. 34, n° 9, pp. 757-760.

Giosan, L., Coolen, M., Kaplan, J.O., Constantinescu, S., Filip, F., Filipova-Marinova, M., Kettner, A.J., Thom, N., 2012, Early Anthropogenic Transformation of the Danube-Black Sea System. Scientific Reports, 2, 582.

Giosan, L., Constantinescu, S., Filip, F., Bing, D., 2013, Maintenance of large deltas through channelization: Nature vs. humans in the Danube Delta, Anthropocene, 1, pp.35-45.

Giosan, L., Syvitski, J.P.M., Constantinescu, S., Day, J., 2014, Protect the World's Deltas, Nature, 516: pp.31-33.

Giurescu, C., 1938, Istoria Românilor. București, 455p.

Giurescu, C., 1964, Istoria pescuitului si pisciculturii in Romania, vol. I, Bucuresti vol I, Ed. Academiei Republicii Socialiste Romania, Bucuresti, 389p.

Giurescu, D.C., 1999, România în al doilea război mondial: (1939 - 1945), Editura ALL Educational, Bucuresti, 310p.

Gob, F., Jacob, N., Bravard, J.P., Petit, F., 2008, The value of lichenometry and historical archives in assessing the incision of submediterranean rivers from the Little Ice Age in the Ardèche and upper Loire (France). Geomorphology 94, pp.170-183.

Gomez-Baggethun, E., Tudor, M., Doroftei, M., Covaliov, S., Năstase, A., Onăra, D.-F., Mierlă, M., Marinov, M., Dorosencu, A.-C., Lupu, G., Teodorof, L., Tudor, I.-M., Köhler, B., Museth,

J., Aronsen, E., Johnsen, S. I., Ibram, O., Marin, E., Crăciun, A., Cioacă, E., 2019, Changes in ecosystem services from wetland loss and restoration: An ecosystem assessment of the Danube Delta (1960–2010), *Ecosystem Services*, no. 39, 17p.

Goodbread, S.L., Saito, Y., 2012, tide-Dominated Deltas, In *Principles of Tidal Sedimentology*, Davis, R.A., Dalrymple, R.W., Springer Science + Business Media B.V., pp. 129-149.

Goslin, J., 2014, Reconstitution de l'évolution du niveau marin relatif holocène dans le Finistère (Bretagne, France) : dynamiques régionales, réponses locales, thèse de doctorat en géographie, Université de Bretagne occidentale- Brest, 355p.

Graf, W.L., 2006, Downstream hydrologic and geomorphic effects of large dams on American rivers. *Geomorphology* 79, pp.336-360.

Grant, G.E., 2012, The geomorphic response of gravel-bed rivers to dams: perspectives and prospects. In: Church, M., Biron, P., Roy, A. (Eds.), *Gravel-bed Rivers: Processes, Tools, Environments*, John Wiley & Sons, Chichester, pp. 165-181.

Grant, G.E., Schmidt, J.C., Lewis, S.M., 2003, A geologic framework for interpreting downstream effects of dams on rivers. In: O'Connor J.E. & Grant, G.E. (Eds.), *Water Science and Application 7*, American Geophysical Union, pp. 209-225.

Gregory, K.J., 2006, The human role in changing river channels. *Geomorphology*, No. 79, pp. 172-191.

Grisebach, A., 1839, dans Cernovodeanu, P., Busa, D., 2006, Calatori straini despre tarile romane in secolul al XIX-lea, *Serie Noua, Vol.III*, Editura Academiei Romane, Bucuresti, pp.762-766.

Groparu, T., Valette, Ph., Carozza, L., Micu, C., Carozza, J.-M., Burens, A., 2019, La place des idéologies dans la construction des paysages du delta du Danube : un regard géohistorique sur quatre siècles d'aménagements et transformations de l'environnement, dans Valette, Ph., Carozza, J.-M., *Géohistoire de l'environnement et des paysages*, CNRS éditions, Paris, pp. 205-221.

Grove, J.M., 1988. *The Little Ice Age*. Methuen, London, 498p.

Grove, A.T., 2006, A brief consideration of climate forcing factors in view of the Holocene glacier record. *Global. Planet. Change.* 60, pp.141-147.

Gurnell, A.M., 1997, Channel change on the river Dee meanders, 1946–1992, from the analysis of air photographs. *Regul. River* 22, pp. 967–985.

Gurnell, A.M., Peiry, J.L., Petts, G.E., 2003, Using historical data in fluvial geomorphology. In: Kondolf, G.M., Piégay, H. (Eds.), *Tools in Fluvial Geomorphology*. Wiley, pp. 77-101.

Guttler, F. N., 2012, Les eaux du delta du Danube : approche géographique par télédétection satellitaire, thèse de doctorat en géographie, Université de Bretagne occidentale, Brest, p.283.

Habersack, H., Hein, T., Stanica, A., Liska, I., Mair, R., Jäger, E., Hauer, C., Bradley, C., 2015, Challenges of river basin management: Current status of, and prospects for, the River Danube from a river engineering perspective, *Science of the Total Environment*.

Harbaugh, J. W. & Bonham-Carter, G., 1977, Computer simulation of continental margin sedimentation. In: *The Sea, Volume 6, Marine Modelling*, ed. by E. D. Goldberg, I. N. McCave, J. J. O'Brien & J. H. Steele, Wiley Interscience, London, pp. 623-649.

Harley, J.B., Woodward, D., 1987, *The History of Cartography. vol 1, Cartography in prehistoric, ancient, and medieval Europe and the Mediterranean*, The University of Chicago Press, Chicago, 622p.

Hartley, C., 1869, *Rapport du 20 Avril 1869*, Fond Comisia Europeana a Dunarii, Protocoale, Volumul 17/1872, Arhivele Nationale Galati.

Heiri, O., Lotter, A.F., Lemcke G., 2001, Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *J. paleolimnol.* 25, 1, pp. 101-110.

Helmke, J.P., Schultz M. and Bauch H.A., 2002, Sediment-color record from the Northeast Atlantic reveals patterns of millennial-scale climate variability during the past 500, 000 years. *Quaternary Research*, volume 57, pp. 49-57.

Héquette, A, 2004, Delta, dans *Hypergéó*, encyclopédie de géographie en ligne, www.hypergeeo.eu.

Hickin, E.J., Nanson, G.C., 1984, Lateral migration rates of river bends. *J. Hydraul.* 110, pp. 1557-1567.

Hiscott, R.N., Aksu, A.E., Mudie, P.J., Kaminski, M., Abrajano, T., Yaşar, D., Rochon, A., 2007, The Marmara Sea Gateway since ~16 ka: non-catastrophic causes of paleoceanographic events in the Black Sea at 8.4 ka and 7.15 ka. In: Yanko-Hombach, V., Gilbert, A.S., Panin, N., Dolukhanov, P.M. (Eds.), *The Black Sea Flood Question: Changes in Coastline, Climate and Human Settlement*. Springer, Dordrecht, pp. 89-117.

Homewood, P.W., Mauriaud, P., Lafont, T.F., 1999, Best practices in Sequence Stratigraphy for explorationists and reservoir engineers, *Vade-mecum de Stratigraphie Séquentielle pour géologues, géophysiciens et ingénieurs réservoir*, Bull. Centre Rech. Elf Explor. Prod., Mem. 25, 81 p.

Hotzl, H., 1996, Origin of the Danube-Aach system, *Environmental Geology*, no.27, pp.87-96.

Houbrechts, G., Hallot, E., Leveqc, Y., Denis, A.C., Van Campenhout, J., Peeters, A., Petit, F., 2013, *Images CM de Passega des rivières ardennaises*. BSGL 61, pp. 37-68.

Hoye, P.F., Lunde, P., 1980, Piri Reis and the Hapgood Hypotheses, *Saudi Aramco world*, vol.31, no., pp.18-31.

Huggett, R.J., 2007, *Fundamentals of Geomorphology*, Routledge Taylor & Francis Group, London and New York, 466p.

ICPDD (Institutul de cercetare si proiectare Delta Dunarii), 1997, *Renaturare – reconstructie ecologica in rezervatia biosferei Delta Dunarii*, referat anual, Tulcea, 90p.

ICPDD (Institutul de cercetare si proiectare Delta Dunarii), 2010, Planificarea proiectelor de reconstructie ecologica in Rezervatia biosferei transfrontaliera Delta Dunarii, Romania/Ucraina, Tulcea, 170p.

ICPDR, 2017, International Commission for the protection of the Danube River, Issues/Floods, www.icpdr.org.

ICPDR/JDS1, 2002, International Commission for the Protection of the Danube/ Joint Danube Survey 1, Final Report, Chapter 3, Nine Geo-morphological Danube Reaches, pp. 22-31.

Iftimoaie, C., 2003, Originile si evolutia serviciului topografic roman, Revista Academiei Fortelor Terestre, Anul VIII/nr.1 (29), Trimestrul I, 3p.

Illies, J., 1978, Limnofauna Europaea Eine Zusammenstellung aller die europäischen, Binnengewässer bewohnenden mehrzelligen Tierarten mit Angaben über ihre Verbreitung und Ökologie.- Fischer, Stuttgart.

Ionescu-Dobrogeanu, 1909, Formarea Deltei Dunarii, Buletinul Societatii Regale Romane de Geografie, XXX.

Ionescu, M.D., 1904, Dobrogiia in pragul veacului al XX-lea, Atelierele grafice Socecu, Bucuresti, 1010p.

Ionescu, M.D., 1909, Formarea Deltei Dunarii, Buletinul Societatii Regale Romane de Geografie, XXX/1, Bucuresti.

Ionescu-Dobrogeanu, M., 1921, Delta Dunarii, Buletinul Societatii Regale Romane de Geografie, XL.

Ionescu-Dobrogeanu, M., 1921, Spicuiiri si talmaciri din Herodot in legatura cu regiunea gurilor Dunarii, Buletinul Societatii Regale Romane de Geografie, volumul 42, Bucuresti.

Ionescu-Dobrogeanu, 1938, Notre Sachaline, Buletinul Societatii Regale Romane de Geografie, LII.

Ionescu-Sisești, G., 1933, Lunca Dunării și punerea ei în valoare, București.

Iorga, N., 1930, Istoria Românilor si a civilizatiei lor, Editura fundatiei "Ferdinand I-iu", București, 301p.

Iorga N., 1940, Romania cum era pana la 1918, vol. II Moldova si Dobrogea, Imprimeria Nationala, Bucuresti, 500p.

IPCC, 2014, Summary for Policymakers. In: Climate Change 2014: Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D.J., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., Bilir, T.E., Chatterjee, M., Ebi, K.L., Estrada, Y.O., Genova, R.C., Girma, B., Kissel, E.S., Levy, A.N., MacCracken, S., Mastrandrea, P.R., White, L.L. (Eds.), Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32.

Jageman, D., 2010, *The World's Most International River : The Danube River. Current Status and Restoration Efforts*, Washington & Jefferson College, Environmental Studiex 350 : Environmental Reclamation, 21p.

Jantzi, H., 2018, *Incision fluviale et transition d'une rivière alluviale vers une rivière à fond rocheux : formation et évolution des seuils molassiques de la moyenne Garonne toulousaine au cours du 20^{ème} siècle*, thèse de doctorat, Université de Toulouse – Jean Jaurès, 332p.

Jelgersma, S., 1961, - *Holocene sea-level changes in The Netherlands*, Mededelingen van de Geologische Stichting, serie C VI 7, pp.1-100.

Karr, J.R., Allan, J.D., Benke, A.C., 2000. *River conservation in the United States and Canada*. In: Boon, P.J., Davies, B.R., Petts, G.E. (Eds.), *Global Perspectives on River Conservation. Science, Policy and Practice*. Wiley, Chichester, pp. 3-39.

Kiessling, M., 1913, Hieron stoma. In: *Paulys Wissowa's Real Encyclopedie der Classichen Altertumswissenschaft* 8, pp. 1530-1535.

Kiss, T., Blanka, V., 2012, *River channel response to climate and human induced hydrological changes: case study on the meandering Hernád River, Hungary*. *Geomorphology* 175-176, pp. 115–125.

Kondolf, G.M., 1997, *Hungry Water: Effect of Dams and Gravel Mining on River Channels*. *Environ. Manage.* 21, 4, pp.533-551.

Kraus-Kalveit, I. and Pannonhalmi, M. (2001) *Vom Rhein zur ungarischen Donau*. I–II. Ministry of the Environment and Forestry, Rhineland–Palatinate, Mainz.

Kresser, W., Laszloffy, W., 1964, *Hydrologie du Danube*, *La Houille Blanche*, no.2, pp.133-178.

Krumbein, W.C., Pettijohn, F.J., 1938, *Manual of Sedimentary Petrography*. Appleton-Century-Crofts, New York.

Lacoste, Y., 2006, « Hérodoté et un delta, il y a trente ans », *Hérodote*, no. 121.

Laganier, R., Arnaud-Fassetta, G., 2009, *Les géographies de l'eau : processus, dynamique et gestion de l'hydrosystème*, Paris, l'Harmattan, p. 298.

Lambeck, K., Chappell, J., 2001, *Sea level change through the Last Glacial Cycle*, *Science*, 292, pp. 679-686.

Lambeck, K., Purcell, A., 2005, *Sea-level change in the Mediterranean Sea since the LGM: model predictions for tectonically stable areas*. *Quaternary Science Reviews*, 24, pp.1969-1988.

Landon, N., Piégay, H., 1994, *L'incision de deux affluents sub-méditerranéens du Rhône: la Drôme et l'Ardèche*. *Rev. Géogr. Lyon* 1, pp. 63-72.

Lang Delus, C., 2011, *Les étiages : définitions hydrologique, statistique et seuils réglementaires*, *Cybergeo : European Journal of Geography*.

Lászlóffy, W., 1965, Die Hydrographie der Donau. Der Fluss als Lebensraum.- In: Liepolt, R. (ed.): Limnologie der Donau - Eine monographische Darstellung. Schweizerbart, Stuttgart, Kapitel II: pp. 16-57.

Lauzon, R., Murray, A.B., 2018, Comparing the Cohesive Effects of Mud and Vegetation on Delta Evolution, *Geographical Research letters*, Volume 45, Issue 19, pp. 10.437-10.445.

Lambiase, J.J., Damit, A.R., Simmons, M.D., Abdoerrias, R., Hussin, A., 2003, A depositional model and the stratigraphic development of modern and ancient tide-dominated deltas dans NW Borneo, dans Sidi, F.H., Nummedal, D., Imbert, P., Darman, H., and Posamantier, H.W., eds., *Tropical Deltas of Southeast Asia—Sedimentology, Stratigraphy, and Petroleum Geology: SEPM, Special Publication 76*, pp. 109–123.

Le Drézen, Y., Lespez, L, Rasse, M., Garnier, A., Coutard, S., Huysecom, E., Ballouche, A., 2010, Hydrosedimentary records and Holocene environmental dynamics in the Yamé Valley (Mali, Sudano-Sahelian West Africa). *Comptes Rendus Geoscience* 342, pp. 244-252.

Le Roy Ladurie, E., 1967, *Histoire du climat depuis l'an mil*, Flammarion, Paris, 381p.

Legrand, P.E., 1945, *HÉRODOTE, Histoires, texte établi et traduit*, Les Belles Lettres.

Lejean, G., 1861, *Ethnographie de la Turquie d'Europe*, 46p.

Leopold, L.B., Wolman, M.G., 1957, River Channel Patterns, Braided, Meandering and Straight. *U.S. Geol. Surv. Paper. 282-B*, pp. 39-73.

Lericolais, G., Bulois, C., Gillet, H. Guichard, F., 2009, High frequency sea level fluctuations recorded in the Black Sea since the LGM. *Global and Planetary Change*, 66 (1-2), pp. 65-75.

Lescure, S., 2015, *La Garonne maritime à l'Holocène : Dynamique, environnements et occupation humaine*, thèse de doctorat, Université Paris 1, 266p.

Lewin, J., 1987, Historical river channel changes. In: Gregory, K.J., Lewin, J., Thornes, J.B. (Eds.), *Paleohydrology in Practice*. Wiley, Chichester, pp. 161–175.

Lewis, C.P., 1988, *Mackenzie Delta sedimentary environments and processes*, draft copy, Inland Waters Directorate, Environment Canada, Ottawa, Ontario.

Lewis, S.L., Maslin, M.A., 2015, Defining the Anthropocene, *Nature* 14258, Vol.519, pp. 171-180.

Li, L., Liu, C., Mou, H., 2000. River conservation in central and eastern Asia. In: Boon, P.J., Davies, B.R., Petts, G.E. (Eds.), *Global Perspectives on River Conservation*. Science, Policy and Practice. Wiley, Chichester, pp. 263-279.

Liébault, F., Piégay, H., 2002, Causes of 20th century channel narrowing in mountain and piedmont rivers of southeastern France. *Earth Surf. Proc. Land.* 27, pp.425-444.

Liebault F., 2003, *Les rivières torrentielles des montagnes drômoises : évolution contemporaine et fonctionnement géomorphologique actuel (massifs du Diois et des Baronnie)*. Thèse de doctorat, Lyon, France, Université Lumière, 375 p.

- Lilin, C., 1986, Histoire de la restauration des terrains en montagne au 19e siècle. Cah. ORSTOM, sér. Pédol. XXII, 2, pp.139-145.
- Liteanu, E., Pricajan, A., Baltac, G., 1961. Transgresiunile cuaternare ale Marii Negre pe teritoriul Deltei Dunării. *St. cerc. geol.*, 6,4, pp. 743- 762.
- Liteanu, E., Pricajan, A., 1963. Alcatuirea geologica a deltei Dunării. *Hidrobiologia*, 4, pp. 57-80.
- Llovel, W., Meyssignac, B., Cazenave, A., 2011, Steric sea level variations over 2004-2010 as a function of region and depth: Inference on the mass component variability in the North Atlantic Ocean, *Geophysical Research Letters*, 38,15.
- Lister, C.J., Hiscott, R.N., Aksu, A.E., Mudie, P.J., 2015, Compositional trends through the Holocene mud succession of the southwestern Black Sea shelf: Implications for sedimentary provenance and water-level history. *Sed. Geol.* 316, pp.13–25.
- Liteanu, E., Pricajan, A., 1963. Alcatuirea geologica a Deltei Dunari, *Studii Tehnice si Economice, STECG-E*, 6.
- Literáthy, P., Koller-Kreimel, V., Liska, I., 2002, Joint Danube Survey, Technical Report of the International Commission for the Protection of the Danube River, 261 pp.
- Loczy, D., 2007, The Danube : Morphology, Evolution end Environmental Issues, dans *Large Rivers Geomorphology and Management* Edites by Avijit Gupta, Singapore, John Wiley & Sons, Ltd, pp.235-260.
- MacNaughton, R.B., Dalrymple, R.W., Narbonne, G.M., 1997, Early Cambrian braid-delta deposits, Mackenzie Mountains, north-western Canada: *Sedimentology* 44, pp. 587–609.
- Malciu, V. (2000) Implications of accelerated sea-level rise (ASLR) for Romania. Proceedings of SURVAS Expert Workshop on European Vulnerability and Adaptation to Impacts of Accelerated Sea-Level Rise (ASLR), Hamburg, 19–21 June 2000, pp. 23–24.
- Mann, M.E., 2002a. Little Ice Age. In MacCracken, M.C., Perry, J.S., *Encyclopedia of Global Environmental Change*. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, pp. 504-509.
- Mann, M.E., 2002b, Medieval Climatic Optimum. In MacCracken, M.C., Perry, J.S. (Eds.), *Encyclopedia of Global Environmental Change*. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, pp. 514-516.
- Mann, M.E., Zhang, Z., Rutherford, S., Bradley, R.S., Hughes, M.K., Shindell, D., Ammann, C., Faluvegi, G., Ni, F., 2009, Global Signatures and Dynamical Origins of the Little Ice Age and Medieval Climate Anomaly. *Science* 326, pp.1256-1259.
- Marin, H., Cuculis, Gr., Munteanu, A., 1958, Raionul Tulcea – ghid turistic monographic, 606p.
- Marston, R.A., Girel, J., Pautou, G., Piégay, H., Bravard, J.P., Arneson, C., 1995, Channel metamorphosis, floodplain disturbance, and vegetation development: Ain River, France. *Geomorphology* 13, pp. 121–131.

Matei, C.P., 2018, A fost confirmat zacământul urias din Marea Neagra, article en ligne, Cotidianul.ro, publié le 2 juillet 2018.

McCartney-Castle, K., Voulgaris, G., Kettner, A.J., Giosan, L., 2012, Simulating fluvial fluxes in the Danube watershed : The « Little Ice Age » versus modern day, *The Holocene*, vol.22, no.1, pp.91-105.

Mc Farlan, E. Jr., 1961, – Radiocarbon dating of late Quaternary deposits, South Louisiana, *Bulletin of The Geological Society of America*, 72, pp.129-158.

McLean, J.R., Jerzykiewicz, T., 1978, Cyclicality, tectonics and coal: some aspects of fluvial sedimentology in the Brazeau- Paskapoo Formations, Coal Valley area, Alberta, Canada. In: Miall, A.D. (ed.): *Fluvial Sedimentology*. Canadian Society of Petroleum Geology Memoir 5, pp. 441–468.

McManus, J., 2002, Deltaic responses to changes in river regimes, *Marine Chemistry* no.79, pp.155–170.

Merzeraud, G., 2009, *Stratigraphie séquentielle : histoire, principes et applications*, Vuibert, 152 p.

Métivier, F., Barrier, L., 2012, Alluvial landscape evolution: what do we know about metamorphosis of gravel bed meandering and braided streams. In: Church, M., Biron, P., Roy, A.G., *Gravelbed rivers: processes, tools, environments*, Chichester, John Wiley & Sons.

Miall, A.D., 2006, *The Géology of Fluvial Deposits, Sedimentary facies, Basin analysis and Petroleum Geology*, 4th corrected printing, Springer.

Micu, C., Carozza, L., Carozza, J.-M., Mihail, F., Juganaru, G., 2009, Observations sur l’habitat néo-énéolithique dans le Delta du Danube, in: *In medias res praeistoriae. Miscellanea in honorem annos LXV peragentis Professoris Dan Monah oblata*, Editura Universitatii « A.I. Cuza » Iasi, Iasi, 2009, pp. 317-337.

Micu, C., Ailincăi, S., 2016, *Rezervatia Biosferei Delta Dunarii si Rezervatia Naturala Prutul de Jos – Patrimoniul arheologic-*, Tulcea, 194 p.

Micu, C., Ailincăi, S., Carozza, L., Stanica, A., 2016, Danube Delta Biosphere Reserve: archaeological patrimony. In: *Scientific Annals of the Danube Delta Institute*, vol 22, pp. 61-74.

Mihail, F., Micu, C., Carozza, L., Carozza, J.-M., Froparu, T., Messenger, E., Burens, A., Ailincăi, S., Danu, M., Mihail, C., 2014, « Damnbul lui Hralambie » - un nou sit eneolitic in Delta Dunarii, *Pontica*, XLVII, pp.125-152.

Mihailescu, V., 1936, *Asupra geomorfologiei Dobrogii*, dans *Buletinul Societatii Regale Romane de Geografie*.

Mihailescu, V., 1947, *Geografia Romaniei, curs litografiat*, Faculté des sciences, Bucarest.

Mihailescu, V., Banu A., 1958, *Privire geografica asupra deltei Dunarii*, dans *Hidrobiologia*, vol. 1.

Mischevca, V., 2012, *Razboiul ruso-turc din 1806-1812*, *Akademos* nr.2 (25), pp. 17-22.

Mikhailova, M., Mikhailov, V. et Morozov, V., 2012, Extreme hydrological events in the Danube River basin over the last decades, *Water Resources*, vol. 39, n° 2, pp. 161-179.

Milliman, J.D., 1997, Effect of terrestrial processes and human activities on river discharge, and their impact on the coastal zone. In: Haq, B.U., Haq, S.M., Kullenberg, G., Stel, J.H. (Eds.), *Coastal Zone Management Imperative for Maritime Developing Nations*. Kluwer Academic Publishers, pp. 75–92.

Mitroi-Tisseyre, V., 2013, Une pratique sociale à l'épreuve de la conservation de la nature. Incertitudes et controverses environnementales autour de la dégradation de la pêche dans la Réserve de Biosphère du Delta du Danube, Thèse de doctorat, Université Paris Ouest Nanterre La Défense, 432 p.

Mitroi-Tisseyre, V., 2016, Introduction au dossier : Le Danube, un système hydro-social au sein de l'Europe. Savoirs, pratiques et aménagements pour vivre avec le fleuve, *CinqContinents revue roumaine de géographie*, volume 6, numéro 14, pp.159-164.

Mitrovica, J.X., Milne, G.A., 2002, On the origin of ocean siphoning, *Quaternary Science Reviews*, 21, pp. 2179-2190.

Mix, A.C., Rugh, W., Piasias, N.G. and Veirs, S., Leg 138 Shipboard Sedimentologists (Hagelberg, T., Hovan, S., Kemp, A., Leinen, M., Levitan, M., Ravelo, C.) and leg 138 Scientific Party 1992, Color reflectance spectroscopy: a tool for rapid characterization of deep-sea sediments. In Mayer, L., Piasias, N., Janecek, T. et al., *Proc. ODP, Init. Repts., 138 (Pt. 1): College Station, TX (Ocean drilling Program)*, pp.66-67.

Moog, O., Sommerhäuser, M., Robert, S., Battisti, T., Birk, S., Hering, D., Ofenböck, T., Schmedtje, U., Schmidt-Kloiber, A., Vogel, B., 2008, Typology of Danube River sections based on environmental characteristics and benthic invertebrate assemblages, *Large Rivers*, Vol. 18, No. 1-2, pp. 127-144.

Morisawa, M., 1985, Topologic properties of delta distributary networks, in Michael, W.J., *Models in Geomorphology: Winchester, Massachusetts, Allen & Unwin*, pp. 239–268.

Morot, J. B., 1839, dans Cernovodeanu, P., Busa, D., 2006, Calatori straini despre tarile romane in secolul al XIX-lea, *Serie Noua, Vol.III, Editura Academiei Romane, Bucuresti*, pp.799-803.

Motoc, C., 2014, Misterul scufundarii navei Rostock, *article en ligne, historia.ro*.

Motoc, C., Manole, I., 2015, *Monografia satelor Partizani & Ilgani de Sus*, Zoom print© center Iasi, Tulcea, 372p.

Motoc, C., 2016, *Maliuc orasul stiintei*, Zoom print© center Iasi, Tulcea, 191p.

Mureșean, O., 2006, *De la antichitatea târzie la amurgul evului mediu*, Cluj-Napoca: Editura Todesco.

Murgoci G., 1912, *Geografia fizica in Dobrogea de Nord*.

Murgoci, G.M., 1912, Studii de geografie fizica in Dobrogea de Nord. Orografia. *Bull. Rom. R. Soc. Geogr.* 33, pp.164-200.

Murgoci, G.M., 1914. Cercetari Geologice in Dobrogea Nordica, vol. 5. Yearbook of the Geologic Institute.

Mutihac, V., 1990. Structura geologică a teritoriului Romaniei. Editura Tehnica, București.

Nastase, G., 1932, "Peuce". Contributie la cunoasterea geografica-fizica si omeneasca a Deltei Dunarii in antichitate. Bull. Rom. R. Soc. Geogr. 51, pp. 8-50.

Nastase, A., Osaci-Costache, G., 2005, Topografie, cartografie, Editia a2a, Editura Fundatiei Romania de Maine, Bucuresti, 232p.

Nelson, J.M., Kinzel, P.J., Thanh, M.D., Toan, D.D., Shimizu, Yasuyuki, and McDonald, R.R., 2011, Mechanics of flow and sediment transport in delta distributary channels, in Proceedings of the 1st EIT International Conference on Water Resources Engineering: Bangkok, Engineering Institute of Thailand, p. 8–14.

Nemec, W., Steel, R.J., 1988, What is a fan-delta and how do we recognize it?, dans W. Nemec & R.J. Steel (ed.). Fan Deltas: Sedimentology and Tectonic Settings. Blackie and Son, Glasgow, pp. 3-13.

Nemec, W., 1990, Deltas – remarks on terminology and classification. In : Coarse-grained Deltas, Eds Colella, A. & Prior, D.B., Special Publication 10, International Association of Sedimentologists, Blackwell Scientific Publications Oxford pp. 29-73.

Nichersu, I., 2000, Utilizarea sistemului geographic informational in realizarea atlasului Rezervatiei Biosferei Delta Dunarii, Teza de doctorat, Universitatea din Bucuresti, Facultatea de Geografie, 130p.

Nichols, G., 2014, Sedimentology and Stratigraphy, second edition, Ed. Wiley-Blackwell, 419p.

Nicoll, T.J., Hickin, E.J., 2010, Planform geometry and channel migration of confined meandering rivers on the Canadian prairies. Geomorphology 116, pp. 37–47.

Niculescu, S., Lardeux, C., Frison, P.-L., Rudant, J.-P., 2009, L'Approche Sociale et Radar de la Gestion du Risque d'inondation dans le Delta du Danube, La Houille Blanche, N°2, pp. 81-87.

Nienhuis, J., Giosan, L., Ashton, A.D., 2015. What makes a delta wave-dominated?, Geology, vol.43, no.6, 4p.

ONU, 2015, International migrant stock 2015, www.un.org

Oosterberg, W., Bujise, A.D., Coops, H., Ibelings, B.W., Menting, G.A.M., Staras, M., Bogdan, L., Constantinescu, A., Hanganu, J., Navodaru, I., Torok, L., 2000, Ecological gradients in the Danube Delta lakes: present state and man-induced changes. [Mandate from:] Institute for Inland Water Management and Waste Water Treatment RIZA. Lelystad: Institute for Inland Water Management and Waste Water Treatment RIZA, 170p.

Olariu, C., Bhattacharya, J.P., 2006, Terminal Distributary channels and delta front architecture of river-dominated delta systems, Journal of Sedimentary Research, v.76, pp.212-233.

Onu, N.C.H., 2003, The oil rich Niger Delta region: a framework for improved performance of the Nigerian regulatory process. *Ambio* 32, pp. 325–326.

Orton, G. J., 1988, A spectrum of Middle Ordovician fan deltas and braidplain deltas, North Wales: a consequence of varying fluvial clastic input, In : *Fan Deltas ; Sedimentology and tectonic Settings* (Ed. by W. Nemeč and R. J. Steel), Blackie and Son, London, pp. 23-49.

Orton, G. J. & Reading H.G., 1993, Variability of deltaic processes in terms of sediments supply, with particular emphasis on grain size, *Sedimentology*, 40, pp.475-512.

Otel, V., Banarescu, P., Nalbant, T., Bacalu, P.Cocias, S., *Investigatii asupra ihtiofaunei dulcicole a Deltei Dunarii – rezervatia biosferei in 1991*, Anuar INCDDD, 1993

Panin, N., 1972, Histoire quaternaire du Delta du Danube. Essai d'interprétation des faciès des dépôts deltaïques, *Cercetari Marine*, No.4, pp.5-15.

Panin, N., 1974, Evolutia Deltei Dunarii in timpul Holocenului, *Studii de geologie* 5.

Panin, N., Panin, S., 1983, Radiocarbon dating of Danube Delta deposits, *Quaternary research*, no.19, pp.249-255.

Panin, N., 1983. Black Sea coast line changes in the last 10,000 years. A new attempt at identifying the Danube mouths as described by the ancients. *Dacia* 27 (1-2), pp. 175-184.

Panin, N., 1989, Danube Delta, Genesis, evolution, geological setting and sédimentology. *Rev. Roum. Géol. Géophys. Géogr., Ser. Géographie*, 33, pp.25-36.

Panin, N., 1997, On the geomorphologic and geologic evolution of the river Danube – Black Sea interaction zone, *Geo-Eco-Marina*, nr.2, p.31-40.

Panin, N., 1999. Danube Delta: Geology, Sedimentology, Evolution. *Association des Sédimentologistes Français, Maison de la Géologie, Paris*, pp. 66.

Panin, N., Jipa, D., 2002. Danube river sediment input and its interaction with the northwestern Black Sea, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, no.54, pp. 551–562.

Panin, N., 2003. The Danube Delta. Geomorphology and Holocene evolution: a Synthesis. *Geomorphologie: relief, processus, environnement* 4, pp.247-262.

Panin, N., Pricajan, A., Baltac, G., 2007, Histoire quaternaire du Danube Delta, essai d'interprétation des faciès des dépôts deltaïques. Version in extenso, republiée d'après Panin, 1972, *Geo-Eco-Marina*, no.13 pp. 31-42.

Panin, N., 2011, The Danube Delta – the Mid Term of the Geo-system Danube River – Danube Delta – Black Sea. Geological Setting, Sedimentology and Holocene to Present-Day, Evolution, *Rev. Roum. Géologie, Tome 55*, București, pp. 41–82.

Panin, N., Overmars, W. 2012, The Danube Delta evolution during the Holocene : reconstruction attempt using geomorphological and geological data, and some of existing cartographic documents, *Geo-Eco-Marina*, nr.18, P.75-104.

Pârâu, S., 2012, Ethnic communities in the Danube Delta. A cultural dialogue, *Journal of Danubian Studies and Reserch*, Vol. 1, Nr. 1, pp.48-56.

Partenie, 1840, dans Cernovodeanu, P., Busa, D., 2006, Calatori straini despre tarile romane in secolul al XIX-lea, Serie Noua, Vol.III, Editura Academiei Romane, Bucuresti, pp.685-699.

Parvan, V., 1914, Histria. Memoriile Academiei Romane 4, pp. 563-593.

Patrut, I., Paraschiv, C., Danet, T., Motas, L., Danet, N., Baltres, N., 1983, The geological constitution of the Danube Delta, Anuarul Institutului de Geologie si Geofizica No. 59, Bucuresti, pp. 55-61.

Pardé, M., 1928, Périodicité des grandes inondations et crues exceptionnelles. In: Revue de géographie alpine, tome 16, no2, pp. 499-519.

Pardé, M., Lang, S., Probal, F., 1967, Les crues du Danube et la grande inondation de juin 1965. In: Annales de Géographie, t. 76, no.415, pp. 273-287.

Passega, R., 1957, Texture as characteristic of elastic deposition. AAPG Bulletin 41, 9, pp.1952-1984.

Passega, R., 1964, Grain size representation by CM patterns as a geological tool. J. sediment. petrol.34, 4, pp. 830-847.

Pastoureau, M., 2004, Une histoire symbolique du Moyen Âge occidental, Seuil, La librairie du XXIe siècle, Paris, 436p.

Patrick, D.M., Smith, L.M., Whitten, C.M., 1982, Methods for studying accelerating fluvial change. In: Hey, R.D., Bathurst, J.C., Thorne, C.E. (Eds.), Gravel Bed Rivers. Wiley, Chichester, pp. 783-815.

Paunescu, A., 1999, Paleoliticul si mezoliticul de pe teritoriul Dobrogei. vol. II, Bucharest, Ed. Satya Sai.

Peiry, J.L., 1988, Approche géographique de la dynamique spatio-temporelle des sédiments : l'exemple de la plaine alluviale de l'Arve (Haute-Savoie). Thèse de doctorat, Université Lyon 3, France, 478 p.

Peiry, J.L., Nouguier, F., 1994, Le Drac dans l'agglomération de Grenoble: première évaluation des changements géomorphologiques contemporains. Revue de Géographie Alpine 82, 2, pp.77-96.

Peltier, W.R., Farrell, W.E., Clark, J.A., 1978, - Glacial isostasy and sea-level: a global finite element model. In M.N. Toksöz (ed.), Numerical Modelling in Geodynamics, Tectonophysics, 50, pp.81-110.

Penland, S., Suter, J., McBride, R.A., Williams, S.J., Kindinger, J.L., Boyd, R., 1989, Holocene sand shoals offshore of the Mississippi River delta plain. Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions, 39: pp. 417-480.

Petcu, C., 2012, « Cercetări privind dinamica stațiunilor forestiere din zonele îndiguite ale sectorului inferior al Luncii și Deltei Dunării », teza de doctorat.

Petrescu, I., 2005, "Grigore Antipa" archives preserved in the library of the Romanian Academy, travaux du Muséum d'Histoire Naturelle "Grigore Antipa", vol. XL VIII, pp.575-584.

Petts, G.E., 1979, Complex response of river channel morphology subsequent to reservoir construction. *Progress in Physical Geography* 3, pp.329-362.

Petts, E.G., Muller, H., Roux, A.L., 1989, *Historical Change of Large Alluvial Rivers: Western Europe*. Wiley, Chichester.

Petts, G.E., Gurnell, A.M., 2005, Dams and geomorphology: research progress and future directions. *Geomorphology* 71, pp.27-47.

Petrescu, I.G., 1957, *Delta Dunarii. Geneza si evolutie*, Bucurest, 234p.

Petrescu, I.G., 1975, *Delta Dunarii. Aspecte - Resurse*, Bucurest.

Pfannenstiel, M., 1950, *Die Quartargeschichte des Donaudeltas*, Bonn.

Picon, M., 1978, Analyses de céramiques médiévales par fluorescence X, In G., Demians D'Archimbaud, Rougiers, village médiéval de Provence, *Approches archéologiques d'une société rurale méditerranéenne*, Thèse de doctorat, Université de Paris I, pp. 485-503.

Picon, M., 1997, Etat des recherches de laboratoire sur les céramiques grecques et romaines : orientation et diversification, *Revue Archéologique*, no. 1, pp. 213-219.

Pirazzoli, P.A., Pluet, J., 1991, – *World atlas of Holocene sea-level changes*. Elsevier, Oceanography series 58, Amsterdam, 300 p.

Polonic, G., Zugarăvescu, D., Horomnea, M., Dragomir, V., 1999, Crustal vertical recent movements and the geodynamic compartments of Romanian territory: Second Geophysical Congress, Istanbul, Book of Abstracts, pp. 300-301.

Popescu-Spineni, M., 1978, *Romania in izvoare cartografice si geografice Din antichitate pana in pragul veacului nostru*, Editura stiintifica si enciclopedica, Bucuresti, 254p.

Popp, N., 1965, Geneza și evoluția Deltei Dunării în general și a stufăriilor în special. In: *Monografia stufului din Delta Dunării*, pp. 13–23.

Postma, G., 2003, Fan delta, in: *Encyclopedia of Sediments and Sedimentary Rocks*, sous la direction de: Middleton, G.V., Kluwer Academic Publishers, Boston, pp. 272-274.

Prelz Oltramonti, G., Tanasescu, M., 2019, *The Criminalisation of Informal Practices in the Danube Delta : how and why, Governance Beyond the Law. The Illegal, the Immoral, the Criminal*, halshs-02440019, 14p.

Puckler-Muskau, H., 1839, dans Cernovodeanu, P., Busa, D., 2006, *Calatori straini despre tarile romane in secolul al XIX-lea, Serie Noua, Vol.III*, Editura Academiei Romane, Bucuresti, pp.792-797.

Rabineau, M., Berné, S., Olivet, J.-L., Aslanian, D., Guillocheau, F., Joseph, P., 2006, Paleo sea levels reconsidered from direct observation of paleoshoreline position during Glacial Maxima (for the last 500,000 years), *Earth and Planetetary Science Letters*, 252, pp. 119—137.

Rădulescu, A., Bitoleanu, I., 1979, *Istoria românilor dintre Dunăre și Mare. Dobrogea*, Editura Științifică și Enciclopedică, București, 1979, 439p.

- Radulescu, A., Bitoleanu, I., 1998, Istoria Dobrogei, Editura Ex Ponto, Constanta, 534 p.
- Rainwater, E.H., 1975, Petroleum in deltaic sediments. In: Broussard, M.L. (Ed.), Deltas: Models for Explorations. Houston Geological Society, pp. 3–11.
- Razvan, L., 2009, Populatia Dobrogei in perioada interbelica, Semanatorul Editura – online, 239 p.
- Reading, H.G., 1978, Sedimentary Environments and Facies, Blackwell Scientific Publications, Oxford, England.
- Reille, M., 1992, Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord, Laboratoire de Botanique Historique et Palynologie, Marseille.
- Renaud, F.G., Syvitski, J.P.M., Sebesvari, Z., Werners, S.E., Kremer, H., Kuenzer, C., Ramesh, R., Jeuken, A., Friedrich, J., 2013. Tipping from the Holocene to the Anthropocene: How threatened are major world deltas? , Current opinion in Environmental sustainability, Vol.5, No.6, pp.644-654.
- Ritter, J., 1976, Le Danube, Presses Universitaires de France, 126p.
- Ritter, D.F., Kochel, R.C. and Miller, J. R., 1995, Process Geomorphology, 3rd edition, Wm. C. Brown, Dubuque, Iowa.
- Roberts, H.H., Coleman, J. M., 1996, Holocene evolution of the deltaic plain: a perspective - from Fisk to present, Engineering Geology, 45, pp. 113- 138.
- Robbins, C.H., Simon, A., 1983, Man-induced channel adjustment in Tennessee streams. USGS Water-Resources Investigations Report 82, 4098, 129 p.
- Rodriguez, A.B., Hamilton, M.D., Anderson, J.B., 2000, Facies and evolution of the modern Brazos Delta, Texas: wave versus flood influence: Journal of Sedimentary Research, v. 70, pp. 283–295.
- Rollet, A.J., 2007, Etude et gestion de la dynamique sédimentaire d'un tronçon fluvial à l'aval d'un barrage : le cas de la basse vallée de l'Ain. Thèse de doctorat, Université Jean Moulin Lyon 3, France, 305p.
- Romanescu, G., 1990. Date noi cu privire la controversata insula “Peuce”. Proc. “Dimitrie Cantemir” Geogr. Semin. 10, pp. 299-305.
- Romanescu, G., 1995, Delta Dunării – privire geografica, Editura Glasul Bucovinei, Iași, 122p.
- Romanescu, G., 1996, « Delta Dunării - Studiu morfohidrografic », Editura CORSON, Iași, 216p.
- Romanescu, G., 2011, Morphology and dynamics of the Danube Delta littoral between the Sulina and Sfântu Gheorghe river mouths (Romania), Pontica no.43, pp.515-531.
- Romanescu, G., Bounegru, O., Stoleriu, C., Mișu-Pintilie, A., Nicu, C., Enea, A., Stan, C.O., 2014, The ancient legendary island of PEUCE – myth or reality?, *Journal of Archaeological Science*, no.53, pp.521-535.

Rona, P.A., 1995, Tectono eustasy and Phanerozoic sea-levels, *Journal Coastal Research*, Special issue no.17, Holocene cycles: climate, sea levels, and sedimentation, pp.269-277.

Ross, D.A., Degens, E.T., Macilvaine, J., 1970, Black Sea: Recent Sedimentary History. *Science*, 170 (3954), pp. 163-165.

Roth, S., Reijmer, J.J.G., 2005, Holocene millennial to centennial carbonate cyclicity recorded in slope sediments of great Bahama Bank and its climatic implications. *Sedimentology*, 52, pp. 161-181.

Rudescu, L., Niculescu, C., Chivu I.P. 1965, Monografia stufului din Delta Dunarii, Editura Academiei Republicii Socialiste Romania, București.

Rumsby, B.T., Macklin, M.G., 1996. European river response to climate changes over the last neoglacial cycle (the 'Little Ice Age'). In: Branson, J., Brown, A.G., Gregory, K.J. (Eds.), *Global Continental Changes: The Contexte of Paleohydrology Geological Society Special Publication 115*. Geological Society, London, pp. 217-233.

Ryan, W.B.F., Pitman Iii, W.C., Major, C.O., Shimkus, K., Moskalenko, V., Jones, G., Dimitrov, P., Gorur, N., Sakinc, M., Yuce, H., 1997, An abrupt drowning of the Black Sea shelf. *Marine Geology* 138, pp. 119-126.

Ryan, W.B.F., Pitman, W.C., 1998, Noah's Flood: The New Scientific Discoveries About the Event That Changed History. Simon & Schuster, New York, 320 p.

Ryan, W.B.F., Major, C.O., Lericolais, S G., Goldstein, S.L., 2003, Catastrophic Flooding of the Black Sea. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 31, pp. 525-554.

Salvador, P.G., 1991, Le thème de la métamorphose fluviale dans les plaines alluviales du Rhône et de l'Isère : bassin de Malville et ombilic de Moirans, Bas-Dauphiné, thèse de doctorat, Université Lyon3, 498p.

Salvador P.G., Berger J.-F., Gauthier E., Vanniere B., 2004, Holocene fluctuations of the Rhône River in the alluvial plain of the Basses Terres (Isère, Ain, France). *Quaternaire*, 15, 1-2, pp. 177-186.

Salvador, P.G., 2005, Géomorphologie et géoarchéologie des plaines alluviales (piémont alpin et nord de la France), Dossier d'Habilitation à Diriger les Recherches, texte de synthèse, Université des Sciences et Technologies de Lille 1. 298 p.

Salvador, P.G., Arnaud-Fassetta, G., Carcaud, N., Castanet, C., Ferdinand, L., 2009, Dynamique fluviale holocène et géoarchéologie en milieu fluviale. In : Laganier R., Arnaud-Fassetta G. (éds.), *Les géographies de l'eau. Processus, dynamique et gestion de l'hydrosystème*. L'Harmattan, Paris, pp.181-228.

Sambra, D.E., 2018, Dunarea de Jos, partea I. Sulina pana la 1824, ziuaconstanta.ro, mise en ligne 26.04.2018.

Santisteban, J.I., Mediavilla, R., López-Pamo, E., Dabrio, C.J., Zapata, M.B.R., García, M.J.G., Castaño, S., Martínez-Alfaro, P.E., 2004, Loss on ignition: a qualitative or quantitative method for organic matter and carbonate mineral content in sediments? *Journal of Paleolimnology* 32, pp. 287-299.

Sax, C., 1877, *Ethnographische karte der Europäischen Türkei und ihrer Dependenz zu Anfang des Jahres 1877*, Vien.

Schumm S.A., 1977, *The fluvial system*. New York, Wiley, 376p.

Schmidt, J.C., Wilcock, P.R., 2008, Metrics for assessing the downstream effects of dams. *Water Resources Research* 44.

Schneider, R.R., Cramp, A., Damuth, J.E., Hiscott, R.N., Kowsmann, R.O., Lopez, M., Nanayama, F., Normark, W.R., and Shipboard Scientific Party, 1995, Color-reflectance measurements obtained from leg 155 cores. In Flood, R.D., Piper, D.J.W., Klaus, A., et al., *Proc. ODP, Init. Repts.*, 155: college Station, TX (Ocean Drilling Program), pp.1-65.

Schwertmann, U., 1988, Some properties of soil and synthetic iron oxides. In:Stucki JW, Goodmann BA, Schwertmann U, editors. *Iron in Soils and Clay Minerals*. Nato Advanced Institute. Dordrecht, Neth.:Reidel Publishing Company. Vol. 217, pp. 203-205.

Scorpio, V., Aucelli, P.P.C., Giano, S.I., Pisano, L., Robustelli, G., Roskopf, C.M., Schiattarella, M., 2015, River Channel Adjustments in Southern Italy over Past 150 Years and Implications for Channel Recovery. *Geomorphology* 251, pp. 77–90.

Scruton, P.C., 1960, Delta building and the deltaic sequence, in Shepard, F.P., Phleger, F.B., and Van Andel, T.H., eds., *Recent Sediments Northwest Gulf of Mexico*: Tulsa, Oklahoma, American Association of Petroleum Geologists, pp. 82–102.

Scurtu, I., 1996, *Istoria României în anii 1918-1940: evoluția regimului politic de la democrație la dictatură*, Editura Didactică și Pedagogică, 250p.

Scurtu, I., 2013, *Despre Insula Peuce, Halmyris si traseul drumului militar roman dintre Noviodunum si Callatis, Pontica*, no.46, pp.443-458.

Segura-Beltrán, F., Sanchis-Ibor, C., 2013, Assessment of channel changes in a Mediterranean ephemeral stream since the early twentieth century. *The Rambla de Cervera, eastern Spain*.

Seybold, H., Andrade, J.S., Herrmann, H.J., 2007, Modeling River delta formation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Edited by H. Eugene Stanley, Boston University, Boston, MA, pp. 16804-16809.

Shackleton, N.J., 2000, The 100,000-year Ice-Age cycle found to lag temperature, carbon dioxide, and orbital eccentricity, *Science*, 289, pp. 1897-1902.

Simion, G., 1971, *Descoperiri arheologice pe grindurile din Delta Dunarii. Peuce. 2*, pp. 47-61.

Simion, G., 1997, Le site de Celic –Dere. Interprétations ethno-culturelles et implications dans la chronologie du Hallstatt, in *Premiere Age du Fer aux Bouches du Danube et dans les régions autour de la Mer-Noire*, Actes du Colloque International, Tulcea, pp.231-252.

Simion, G., 2000, Tombes tumulaires dans la nécropole de Celic-Dere, in *Tombes Tumulaires de l'Age du Fer dans le Sud-Est de l'Europe*, Actes du Iie Colloque International d'Archéologie Funéraire, Tulcea, pp.69-82.

Slade, A., 1838, dans Cernovodeanu, P., Busa, D., 2006, Calatori straini despre tarile romane in secolul al XIX-lea, Serie Noua, Vol.III, Editura Academiei Romane, Bucuresti, pp. 805-811.

Slanar H., 1945, Zur Kartographie und Morphologie des Donau-Deltas, dans Mitteilungen der geographischen Gesellschaft, Wien, nr. 1-12.

Sommerhäuser, M., Robert, S., Birk, S., Hering, D., Moog, O., Stubauer, I., Ofenbock, T., 2003, UNDP/GEF Danube Regional Project, Activity 1.1.6 “Developing the typology of surface waters and defining the relevant reference conditions”, Final Report, 97p.

Sommerwerk, N., Hein, T., Schneider-Jacoby, M., Baumgartner, C., Ostojic, A., Siber, R., Bloesch, J., Paunovic, M., Tockner, K., 2009, The Danube River Basin, in : Tockner, K., Uehlinger, U., Robinson, C.T., Rivers of Europe, Academic Press, pp.59-112.

Sommerwerk, N., Bloesch, J., Paunovic, M., Baumgartner, C., Venohr, M., Schneider-Jacoby, M., Hein, T., Tockner, K., 2010, Managing the world's most international river : the Danube River Basin, Mar. Freshwater Res., vol.61, no.7, pp. 736-748.

Soulet, G., Ménot G., Lericolais G., Bard E., 2011, A revised calendar age for the last reconnexion of the Black Sea to the global ocean. Quat. Sci. Review, 30, pp. 1019-1026.

Spencer, E., 1836, dans Cernovodeanu, P., Busa, D., 2006, Calatori straini despre tarile romane in secolul al XIX-lea, Serie Noua, Vol.III, Editura Academiei Romane, Bucuresti, pp.572-579.

Stanley, D.J., Warne, A., 1994, Worldwide initiation of Holocene marine deltas by deceleration of sea-level rise, Science 265, pp. 228-231.

Stanley, D.J., 1997, Mediterranean deltas : subsidence as a major control of relative sea-level rise, Bulletin Institut Oceanographique, No. Special 18, Monaco, pp. 35-62.

Stammer, D., Cazenave, A., Ponte, R., Tamisiea, M., 2013, Contemporary regional sea level changes, Annual Review Marine Sciences, 5, pp. 21-46.

Stefanescu, C.M., 1981, Nouvelles contributions à l'étude de la formation et de l'évolution du Delta du Danube. Essai d'interprétation de la morphogenèse du delta à l'époque historique à partir de la toponymie, de l'histoire et des cartes anciennes, Paris, Bibliothèque Nationale, 198 p.

Steffen, W., Broadgate, W., Deutsch, L., Gaffney, O., Ludwig, C., 2015. The trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration. Anthropocene Review.

Stow, D.A.V., 1986, Deep clastic seas, in Reading, H.G., ed., Sedimentary Environments and Facies, Second Edition: Oxford, U.K., Blackwell Scientific Publications, pp. 399-444.

Somoza, L., Barnolas, A., Arasa, A., Maestro, A., Rees, J.G., Hernandez-Molina, F.J., 1998, Architectural stacking patterns of the Ebro delta controlled by Holocene High-frequency eustatic fluctuations, delta-lobe switching and subsidence processes, Sedimentary Geology, 117, pp.11-32.

Souchon, Y., Nicolas, V., 2011, Barrages et seuils : principaux impacts environnementaux. Rapport final. Onema, Cemagref, 28 p.

Suceveanu A., 1977, Viața economică în Dobrogea romana. Secolele I-III. Bucharest, Ed. Academiei.

- Suceveanu A., Barnea A., 1991. La Dobroudja romaine. Bucharest, Ed. Academiei.
- Suggate, R. P., 1968, - Post-glacial sea-level rise in the Christchurch metropolitan area, New Zealand. *Geologie en Mijnbouw*, 47, pp.291-297.
- Suter J.R., 1994, Deltaic coast, In: *Coastal evolution ; Late quaternary Shoreline Morphodynamics*, Carter et Woodroffe, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 87-120.
- Swyngedouw, E., 2015, *From manufacturing rivers to desalting the seas : Reconfiguring hydro-social Territoires in Spain*, IS RIVERS, Conférence de clôture, Lyon.
- Syvitski, J.P.M., Vörösmarty, C., Kettner, A.J., Green, P., 2005a, Impact of humans on the flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean. *Science* 308, pp.376–380.
- Syvitski, J.P.M., Harvey, N., Wollanski, E., Burnett, W.C., Perillo, G.M.E., Gornitz, V., 2005b, Dynamics of the coastal zone. In: Crossland, C.J., Kremer, H.H., Lindeboom, H.J., Marshall Crossland, J.I., Le Tissier, M.D.A. (Eds.), *Global Fluxes in the Anthropocene*. Springer, Berlin, pp. 39–94.
- Syvitski, J.P.M., 2008, Deltas at risk, *Integrated Research System for Sustainability Science and Springer, Sustainability Science no.3*, pp.23–32.
- Syvitski, J.P.M., Kettner, A.J., Overeem, I., Hutton, E.W.H., Hannon, M.T., Robert Brakenridge, J., Day, J., Vörösmarty, C., Saito, Y., Giosan, L., Nicholls, R.J., 2009, Sinking deltas due to human activities, *Nature Geoscience*, vol.2, pp. 681-686.
- Tafrafi, O., 1918, *La Roumanie transdanubienne (La Dobroudja)*, esquisse géographique, historique, ethnographique et économique, Paris, Éditions Ernest Leroux, 195p.
- Tanasescu, M., Constantinescu, S., 2020, The human ecology of the Danube Delta : A historical and cartographic perspective, *Journal of Environmental Management*, no.262, 13p.
- Tatu, T., en cours d'apparition, *Afurisita Stramtoare de Sulina au Süne Boğazi cea turceasca" 1743-1812*.
- Teampau, P., 2019, Trouble in paradise: Competing discourses and complex governance in the Romanian danube delta, *Marine Policy*, 9p.
- Thompson, R., Morton, D.J., 1979, Magnetic susceptibility and particle-size distributions in recent sediments of the Loch Lomond drainage basin, Scotland. *Journal of Sedimentary Petrology* 49, pp. 801-811.
- Thouvenel, E. A., 1840, dans Cernovodeanu, P., Busa, D., 2006, Calatori straini despre tarile romane in secolul al XIX-lea, *Serie Noua, Vol.III*, Editura Academiei Romane, Bucuresti, pp.813-835.
- Timar, G., 2010, « Activitatile cartografice si geodezice habsburgice in Vechea Romanie », geo-spatial.org
- Tooley, M.J., 1982, - Sea-level changes in northern England. *Proceedings of the Geologist's Association*, 93, pp.43-51.

Toone, J., Rice, S.P., Piégay, H., 2014, Spatial discontinuity and temporal evolution of channel morphology along a mixed bedrock-alluvial river, upper Drôme River, southeast France: contingent responses to external and internal controls. *Geomorphology* 205, pp. 5–16.

Topoloveanu, F.G., Juganaru, G., Parau, S., Tocanie, P.L., 2008, Studiu privind aspecte istorice si etnografice ale comunitatilor locale din Rezervatia Biosferei Delta Dunarii, Institutul de Cercetari Eco-Muzeale, Tulcea, 61p.

Touchard, L., 2003, *Hydrologie : mers, fleuves et lacs*, Armand Colin, 190 p.

Tricart, J. and Cailleux, A., 1972, *Introduction to Climatic Geomorphology*, Translated from the French by Conrad J. Kiewiet de Jonge. London: Longman.

Tricart, J., Bravard, J.-P., 1991, L'aménagement des trois plus grands fleuves européens : Rhin, Rhône et Danube. Problèmes et méfaits, *Annales de Géographie*, pp. 668-713.

Tulus, A., 2005, Interese economice si politice la gurile Dunarii intre 1936 si 1940, *Analele Universitatii Dunarea de Jos din Galati, Seria Istorie*, No. 4, pp.229-253.

Tyler, N. & Finley, R.J., 1991, Architectural controls on the recovery of hydrocarbons from sandstone reservoirs, In: Miall, A.D., Tyler, N. (Eds.), *SEPM Concepts in Sedimentology and Palaeontology* 3, pp. 1-5.

Udden, J.A., 1914, Mechanical composition of clastic sediments. *Bulletin of the Geological Society of America*, 25, pp. 655-744.

Uhel, R., Spyropoulou, R., Breton, F., Beltrame, C., Arévalo, J., Richard, D., Gómez-Baggethun, E., MartínLópez, B., Lomas, P., Tomas, P., Ezzine, D., Nichersu, J., Marin, J., 2010, Ecosystem accounting and the cost of biodiversity losses: The case of costal Mediterranean wetlands. European Environmental Agency, TR no 3.

Uribelarrea, D., Pérez-Gonzalez, A., Benito, G., 2003, Channel changes in the Jarama and Tagus rivers (Central Spain) over the past 500 years. *Quaternary Sci. Rev.* 22 (20), pp. 2209–2221.

Valette, P., 2002, *Les paysages de la Garonne : les metamorphoses d'un fleuve (entre Toulouse et Castets-en-Dorthe)*, thèse de doctorat, Toulouse, 554p.

Valette, P., Carozza, J.M., 2010, Mise en œuvre d'une démarche géohistorique pour la connaissance de l'évolution des paysages fluviaux : l'exemple de la moyenne vallée de la Garonne , *Géocarrefour*, Vol. 85/1, pp.17-27.

Valette, P., Carozza, L., Micu, C., Carozza, J.-M., Stanica, A., Burens, A., 2013, Approche géohistorique de la liaison du Lac Babadag avec la Lac Razelm à travers l'analyse des cartes anciennes, *Peuce*, S.N., no.11, pp.345-358.

Valsan G., 1934, Nouvelle hypothèse sur le delta du Danube, dans *Comptes rendus du Congrès International de Géographie*, Varsovie.

Valsan, G., 1936. Remarques complementaires apropos de la "Nouvelles hypothese sur le Delta du Danube". *Bull. Rom. R. Soc. Geogr.* 54, pp. 32-37.

Valsan, G., 1935, Remarques complémentaires à propos de la nouvelle hypothèse sur le delta du Danube, dans Buletinul Societatii Regale Romane de Geografie.

Van Geel, 2001, Non-pollen palynomorphs. In: Smol J, Birks HJB, Last W (eds) Tracking environmental change using lake sediments. Vol 3: Terrestrial, algal, and siliceous indicators. Kluwer, Dordrecht, pp. 99–109.

Van Straaten, L.M.J.U., 1960, Some recent advances in the study of deltaic sedimentation, Liverpool and Manchester Geological Journal, pp.411-442.

Vane, F. A., 1840, dans Cernovodeanu, P., Busa, D., 2006, Calatori straini despre tarile romane in secolul al XIX-lea, Serie Noua, Vol.III, Editura Academiei Romane, Bucuresti, pp.862-872.

Vasiliu, I., 1995, Cercetari arheologice in Delta Dunarii. Morminte cu ocru de la Chilia-Veche, Peuce, XI, pp. 49-87

Vergatti, R.S., 2016, Mic eseu asupra mării migratii, Annals of the Academy of Romanian Scientists, Series on History and Archaeology, Vol. 8, No.2, pp.40-50.

Verger, F., 1991, « Les deltas et leur aménagement », Annales de Géographie, t. 100, no.561-562, Numéro du Centenaire, pp. 730-769.

Vespremeanu-Stroe, A., Preoteasa, L., Hanganu, D., Brown, A.G., Bîrzescu I., Toms, P., Timar-Gabor, A., 2013, The impact of the Late Holocene coastal changes on the rise and decay of the ancient city of Histria (southern Danube Delta). Quaternary International. 293, pp. 245-256.

Vespremeanu-Stroe, A., Preoteasa, L., Bîrzescu I., 2015, Danube Delta coast evolution during Antiquity, Les Deltas dans l'Antiquité gréco-romaine, Ecole d'été franco-allemande, Tulcea (Roumanie).

Vespremeanu-Stroe, A., Preoteasa, L., Zăinescu, F., Rotaru, S., Croitoru, L., 2016, Formation of Danube delta beach ridge plains and signatures in morphology, Quaternary International, nr.415, pp. 268-285.

Vespremeanu-Stroe, A., Preoteasa, L., Zăinescu, F., Tatui, F., 2016, The evolution of Danube Delta after Black Sea reconnection to world ocean, Landform dynamics and evolution in Romania, Springer, pp. 512-549.

Vespremeanu-Stroe, A., Zăinescu, F., Preoteasa, L., Tătui, F., Rotaru, S., Morhange, C., Stoica, M., Hanganu, J., Timar-Gabor, A., Cărdan, I., Piotrowska, N., 2017, Holocene evolution of the Danube delta: An integral reconstruction and a revised chronology, Marine Geology 388 pp.38-61.

Vespremeanu-Stroe, A., Tatui, F., Constantinescu, S., Zăinescu, F., 2017, Danube Delta coastline evolution (1856-2010), in Landform Dynamics and Evolution in Romania, Radoane, M., Vespremeanu-Stroe, A., (eds.), Springer International Publishing Switzerland, pp.551-564.

Vicol, M., Dumitrascu G., 1997, Legea agrara din 1882 si implicatiile ei nationale, in Analele Dobrogei, An 14, nr.1, 77p.

Von Brognard, Wenzel Edler, 1786, Journal meiner Reise von Konstantinopel, langst der westlichen Kuste des schwarzen Meeres, uber die Donau, bis Gallaz und von dannen weiters uber Bukarest, Hermanstad nach Wien, Vienne.

Vörösmarty, C.V., Sharma, K.P., Fekete, B.M., Copeland, A.H., Holden, J., Marble, J., Lough, J.A., 1997, The storage and aging of continental runoff in large reservoir systems of the world. *Ambio* 26, pp.210–219.

Vörösmarty, C.V., Meybeck, M., Fekete, B., Sharma, K., Green, P., Syvitski, J., 2003, Anthropogenic sediment retention: major global impact from registered river impoundments. *Global and Planetary Change* no. 39, pp.169–190.

Vörösmarty, C.V., Sahagian, D., 2000, Anthropogenic disturbance of the terrestrial water cycle, *BioScience* 50, pp.753–765.

Vulpe, A., 2001, Epoca bronzului. Considerații generale, în Petrescu-Dîmbovița M. et Vulpe Al. (coord.), *Istoria Românilor. Moștenirea timpurilor îndepărtate*, vol. I, București, pp. 214-224.

Waelbroeck, C., Labeyrie, L.D., Michel, E., Duplessy, J.-C., McManus, J., Lambeck, K., Balbon, E., Labracherie, M., 2002, Sea level and deep water changes derived from benthic Foraminifera isotopic record, *Quaternary Science Review* 21, 1-3, pp. 295-305.

Walling, D.E., Fang, D., 2003, Recent trends in the suspended sediment loads of the World's Rivers. *Global and Planetary Change*, no. 39, pp.111–126.

Waltham, T., 2002, Sinking cities. *Geology Today*, no. 18, pp.95–100.

Wasson, J.G., Malavoi, J.R., Maridet, L., Souchon, Y., Paulin, L., 1995, Impacts écologiques de la chenalisation des rivières. Rapport final. Epteau, Cemagref, Saint-Fons, Lyon, 166 p.

Wellmeyer, J.L., Slattery, M.C., Phillips, J.D., 2005, Quantifying downstream impacts of impoundment on flow regime and channel planform, lower Trinity River, Texas. *Geomorphology* 69 (1–4), pp. 1–13.

Weninger, B., Reingruber, A., Hansen, S., 2010, Konstruktion eines stratigraphischen Altersmodells für die Radiocarbonaten aus Pietrele, Rumänien, in : *PANTA RHEI Studies on the Chronology and Cultural Development of South-Eastern and Central Europe in Earlier Prehistory Presented to Juraj Pavk on the Occasion of his 75th Birthday*. Edited by edited by J. Šutekov. - P. Pavk - P. Kalbkov. - B. Kovr, Bratislava, pp. 141-149.

Weninger, B., Harper, T., 2015, The Geographic Corridor for Rapid Climate Change in Southeast. In : S. Hansen, P. Raczky, A. Anders, A. Reingruber (eds.), Bonn 2015, Neolithic and Copper Age between the Carpathians and the Aegean Sea, pp. 475-505.

Wentworth, C.K., 1922, A scale of grade and class terms for clastic sediments. *J. Geol.*, 30, pp. 377-392.

Williams, G.P., Wolman, M.G., 1984, Downstream effects of dams on alluvial rivers. USGS circular 781, 48 p.

Williams, L.R., Hiscott, R.N., Aksu, A.E., Bradley, L.R., Horne, D.J., Stoica, M., 2018, Holocene paleoecology and paleoceanography of the southwestern Black Sea shelf revealed by ostracod assemblages, *Marine Micropaleontology*, no. 142, pp.48-66.

Winterbottom, S.J., 2000, Medium and short-term channel planform changes on the Rivers Tay and Tummel, Scotland. *Geomorphology* 34 (3–4), 195–208.

Woods, H., C., 1921, The Danube as an International Highway, dans The Fortnightly Review edited by W. L. Courtney, Vol. CX New series, Leonard Scott Publication Company pp.292-301.

Woodroffe, S.A., Horton, B.P., 2005, - Holocene sea-level changes in the Indo-Pacific. Journal of Asian Earth Sciences, 25, pp.29-43.

Xenopol, A.D., 1997, Războaiele dintre ruși și turci și înrâurirea lor asupra Țărilor Române, Editura Albatros, București.

Xoplaki, E., Fleitmann, D., Diaz, H., Von Gunten, L., Kiefer, T., 2011, Medieval Climate Anomaly. Pages News 19, 40 p.

Yalin, M.S., 1992, River Mechanics: Oxford, U.K., Pergamon Press, 220 p.

Yanchilina, A.G., Ryan, W.B.F., McManus, J.F., Dimitrov, P., Dimitrov, D., Salvova, K., Filipova-Marinova, M., 2017, Compilation of geophysical, geochronological, and geochemical evidence indicates a rapid Mediterranean-derived submergence of the Black Sea's shelf and subsequent substantial salinification in the early Holocene. Mar. Geol. 383, pp. 14–34.

Yanko-Hombach, V., Gilbert, A.S., Dolukhanov, P., 2007, Controversy over the great flood hypotheses in the Black Sea in light of geological, paleontological, and archaeological evidence. Quat. Int. 167–168, pp. 91–113.

Yu, S.Y., Törnqvist, T.E., Hu, P., 2012, Quantifying Holocene lithospheric subsidence rates underneath the Mississippi Delta, Earth and Planetary Science Letters, no. 331-332, pp.21-30.

Zawiejska, J., Wyzga, B., 2010, Twentieth-century channel change on the Dunajec River, Southern Poland: patterns, causes and controls. Geomorphology 117, 234–246.

Zencovici, V. P., 1956. Zagadea Dunaiscoi Delti, Priroda nr. 3, pp.86-90.

Zenkovici, V.P., 1957. Enigma Deltei Dunarii. Romanian-Soviet Annals. Geol. Geogr. 1 (30), pp. 75-81.

Ziliani, L., Surian, N., 2012, Evolutionary trajectory of channel morphology and controlling factors in a large gravel-bed river. Geomorphology 173-174, pp.104–117.

Archives

Archive Nationale Tulcea :

SJANT (Serviciul Judetean al Arhivelor Nationale Tulcea), Fond Centrala Delta Dunarii, Dossier 30/1964, Proiect privind amenajarea piscicola Dunavat.

SJANT (Serviciul Judetean al Arhivelor Nationale Tulcea), Fond Centrala Delta Dunarii, Dossier 301/1969, Proiect privind amenajarea hidrotehnica in Maliuc pentru cultura de Arundo-donax (stuf italian).

SJANT (Serviciul Judetean al Arhivelor Nationale Tulcea), Fond Intreprinderea Piscicola Tulcea, Dossier 75/1962, Determinarea indicilor biotehnici si a metodelor de exploatare prin

piscicultura dirijata a unitatilor amenajate stufo-piscicol in zonele de formatie fluviala a Deltei Dunarii (experimentari la Maliuc, Rusca si Obretin)

SJANT (Serviciul Judetean al Arhivelor Nationale Tulcea), Fond Intreprinderea Piscicola Tulcea, Dossier 85/1963, Pepiniera piscicola Stipoc.

SJANT (Serviciul Judetean al Arhivelor Nationale Tulcea), Fond Intreprinderea Piscicola Tulcea, Dossier 96/1964, Activitati in pepiniere.

SJANT (Serviciul Judetean al Arhivelor Nationale Tulcea), Fond Intreprinderea Piscicola Tulcea, Dossier 129/1965-1970, Serviciul Secretariat.

SJANT (Serviciul Judetean al Arhivelor Nationale Tulcea), Fond Intreprinderea Piscicola Tulcea, Dossier 29/1966-1970, Probleme de viitor 1966-1970.

SJANT (Serviciul Judetean al Arhivelor Nationale Tulcea), 1939, Fond Prefectura Judetului Tulcea, Serviciu Administrativ, dosar nr.261/1939, p.5.

Archive de l'Instruite de Recherche et développement » Delta du Danube » Tulcea :

Arhivele Institutului de Cercetare Proiectare Productie Delta Dunarii Tulcea, Proiect 129/1971, Amenajarea piscicola Perisor II (AICPPDD, 129/1971).

Arhivele Institutului de Cercetare Proiectare Productie Delta Dunarii Tulcea, Proiect 171/1972, Amenajarea piscicola Chilia (AICPPDD, 171/1972).

Arhivele Institutului de Cercetare Proiectare Productie Delta Dunarii Tulcea, Proiect 403/1976, Amenajarea piscicola in regim nefurajat Dranov-Ghiol (AICPPDD, 171/1972).

Arhivele Institutului de Cercetare Proiectare Productie Delta Dunarii Tulcea, Proiect 468/1976, Amenajarea piscicola Litcov in regim furajat (AICPPDD, 468/1976).

Arhivele Institutului de Cercetare Proiectare Productie Delta Dunarii Tulcea, Proiect 1228/1985, Amenajarea piscicola Chilia II-Hreblea (AICPPDD, 1228/1985).

Arhivele Institutului de Cercetare Proiectare Productie Delta Dunarii Tulcea, Proiect 1258/1987, Amenajarii piscicola Ceamurlia (AICPPDD, 1258/1987).

Arhivele Institutului de Cercetare Proiectare Productie Delta Dunarii Tulcea, Proiect 1253/1987, Modernizarea amenajarii piscicole Obretin (AICPPDD, 1253/1987).

Arhivele Institutului de Cercetare Proiectare Productie Delta Dunarii Tulcea, Proiect 1198/1988, Modernizarea amenajarii piscicole Tauc (AICPPDD, 1198/1988).

Arhivele Institutului de Cercetare Proiectare Productie Delta Dunarii Tulcea, Proiect 1289/1990, Modernizarea amenajarii piscicole Lunca (AICPPDD, 1298/1990).

Liste des figures

Première Partie – Chapitre 1

| | |
|---|----|
| Fig.1.1 Localisation des principaux deltas dans le monde..... | 16 |
| Fig.1.2 Types des deltas selon la morphologie de l'appareil subaérien..... | 20 |
| Fig.1.3 La classification tripartite des deltas..... | 22 |
| Fig.1.4 La classification des deltas en fonction de la taille de sédiments..... | 24 |
| Fig.1.5 Les parties composant un delta..... | 26 |
| Fig.1.6 La progradation d'un delta..... | 26 |
| Fig.1.7 Le changement de cours d'un distributaire..... | 28 |
| Fig.1.8 Organisation de la redistribution sédimentaire dans une embouchure dominée par les vagues..... | 29 |
| Fig.1.9 A – coupe simplifiée dans un delta ; B – séquence sédimentaire produite par la progradation d'un delta..... | 30 |
| Fig.1.10 Facies deltaïques..... | 32 |
| Fig.1.11 Reconstitution des variations eustatiques holocènes dans les travaux des années 1960..... | 34 |
| Fig.1.12 Les 6 zones eustatiques globales..... | 35 |

Première Partie – Chapitre 2

| | |
|---|----|
| Fig.2.1 Le Danube, un grand fleuve européen..... | 47 |
| Fig.2.2 L'organisation en secteurs du bassin versant danubien..... | 48 |
| Fig.2.3 Profil en long du Danube avec l'évolution de la surface de son bassin versant..... | 49 |
| Fig.2.4 Les neuf sections du bassin versant Danube en fonction des critères géomorphologiques du paysage et des impacts anthropiques..... | 50 |
| Fig.2.5 Les régions géomorphologiques du bassin versant du Danube..... | 51 |
| Fig.2.6 Diagrammes climatiques pluriannuelles dans le bassin versant du Danube..... | 53 |
| Fig.2.7 Diagrammes de régime dans le bassin versant danubien..... | 55 |
| Fig.2.8 La charge sédimentaire du Danube..... | 62 |
| Fig.2.9 Modification de la charge sédimentaire du Danube entre 1960 et après 1985..... | 63 |
| Fig.2.10 – Carte géologique montrant l'emplacement du delta du Danube par rapport aux unités structurales majeures de la région..... | 64 |
| Fig.2.11 Extrait des cartes géologiques 1 : 200 000 avec l'emplacement des coupes géologiques en pointillées rouge (CG1, CG2)..... | 65 |
| Fig.2.12 Coupe Géologique (CG1) Nord-Sud Bras Chilia – Bras Tulcea..... | 66 |
| Fig.2.13 Coupe Géologique (CG2) Ouest-Est Maliuc – Sulina..... | 66 |
| Fig.2.14 Les unités morphologiques et sédimentaires du delta du Danube..... | 67 |
| Fig.2.15 Les rides (en noir) et les unités hydrographiques (en bleu) du delta du Danube..... | 70 |
| Fig.2.16 Carte générale de la province de Bessarabie, 1821..... | 74 |
| Fig.2.17 Modèle hydrologique global du delta du Danube actuel..... | 75 |
| Fig.2.18 Les unités hydrographiques du delta du Danube..... | 76 |
| Fig.2.19 Le Danube englacé..... | 78 |
| Fig.2.20 Variation du débit moyen annuel du Danube (1921-2016) à l'apex du delta..... | 79 |
| Fig.2.21 Crues du Danube à l'apex du delta pour la période 1932-2008..... | 80 |
| Fig.2.22 Les étiages du Danube à l'apex du delta pour la période 1932-2008..... | 81 |

Première Partie – Chapitre 3

| | |
|---|----|
| Fig.3.1 Les régions historiques de la Roumanie..... | 85 |
|---|----|

| | |
|--|-----|
| Fig.3.2 Les sites archéologiques dans la région du delta du Danube (Paléolithique, Néo- énéolithique) | 86 |
| Fig.3.3 L'équipe franco-roumaine sur le site de Taraschina lors d'une campagne de fouille.. | 87 |
| Fig.3.4 Le site archéologique de Taraschina..... | 87 |
| Fig.3.5 Histogrammes cumulés de 43 datations disponibles pour caractériser la transition entre le Chalcolithique (36 datations) et l'Age du Bronze (7 datations) en Dobrogea..... | 88 |
| Fig.3.6 Les sites archéologiques dans la région du delta du Danube (L'Âge du bronze et du fer) | 89 |
| Fig.3.7 Les sites archéologiques dans la région du delta du Danube (La période romaine et médiévale) | 91 |
| Fig.3.8 L'évolution des frontières du XVème au XXème siècle autour de delta du Danube.. | 94 |
| Fig.3.9 La dynamique de la population (Roumanie, Dobrogea, Tulcea, delta du Danube).... | 104 |
| Fig.3.10 L'évolution du nombre des villages dans le delta du Danube..... | 106 |
| Fig.3.11 Evolution du nombre des villages - Delta du Danube..... | 108 |
| Fig.3.12 Cartes ethnique de la Dobrogea..... | 109 |
| Fig.3.13 L'évolution des principaux groupes ethniques en Dobrogea entre 1878 et 2011.... | 111 |
| Fig.3.14. Evolution de la structure ethnique du delta du Danube 1913-2011..... | 114 |

Première Partie – Chapitre 4

| | |
|---|-----|
| Fig.4.1 Les travaux pionniers..... | 118 |
| Fig.4.2 Le modèle du delta du Danube proposé par Valsan..... | 120 |
| Fig.4.3 La formation des rides dans la partie fluviomarine du delta..... | 122 |
| Fig.4.4 Le relief prédeltaïque et les paléobras du Danube..... | 124 |
| Fig.4.5 La formation et l'évolution du delta du Danube d'après Panin..... | 125 |
| Fig.4.6 La formation et l'évolution du delta du Danube d'après Giosan..... | 126 |
| Fig.4.7 Le prolongement du plateau de loess de Chilia vers le sud..... | 127 |
| Fig.4.8 La formation et l'évolution du delta du Danube d'après Vespremeanu-Stroe..... | 129 |

Deuxième Partie – Introduction

| | |
|------------------------------------|-----|
| Fig.1 Démarche méthodologique..... | 134 |
|------------------------------------|-----|

Deuxième Partie – Chapitre 5

| | |
|---|-----|
| Fig.5.1 Missions de carottage du 2013 et 2015..... | 135 |
| Fig.5.2 Localisation des carottages..... | 136 |
| Fig.5.3 Les carottages..... | 137 |
| Fig.5.4 Les types de carottes..... | 137 |
| Fig.5.5 Ouverture et échantillonnage des carottes..... | 138 |
| Fig.5.6 Différents faciès sédimentaires associés aux dépôts des sables à structure massive.. | 141 |
| Fig.5.7 Différents faciès sédimentaires associés aux dépôts avec une stratification horizontale sableuse..... | 141 |
| Fig.5.8 Différents faciès sédimentaires associés à l'alternance de lits limoneux et de lits limono-argileux..... | 142 |
| Fig.5.9 Différents faciès sédimentaires associés aux dépôts des plaines inondables végétalisées..... | 143 |
| Fig.5.10 Différents faciès sédimentaires associés aux dépôts limons-argileux à structure massive..... | 143 |
| Fig.5.11 Différents faciès sédimentaires associés aux paleosols..... | 144 |
| Fig.5.12 Mesures de spectro-colorimétrie et de susceptibilité magnétique..... | 145 |
| Fig.5.13 L'image spectrocolorimétrique du mètre 300-400 de la carotte Caz01..... | 146 |
| Fig.5.14 Diagramme d'évaluation des différents pôles sédimentaires..... | 147 |

| | |
|---|-----|
| Fig.5.15 Données sédimentaires de différents provenances..... | 148 |
| Fig.5.16 Comparaison entre différents enregistrements sédimentaires..... | 149 |
| Fig.5.17 Projection des données en provenance de la Région Pardina sur le diagramme des pôles sédimentaires..... | 150 |
| Fig.5.18 Projection des données en provenance de la Région Sontea-Fortuna sur le diagramme des pôles sédimentaires..... | 151 |
| Fig.5.19 Projection des données en provenance de la Région Les méandres de Mila sur le diagramme des pôles sédimentaires..... | 152 |
| Fig.5.20 Comparaison matière organique entre les résultats perte au feu et mesures de spectrorimétrie pour la carotte Tara14..... | 153 |
| Fig.5.21 Comparaison carbonates entre les résultats perte au feu et mesures de spectrorimétrie pour la carotte Parlac..... | 154 |
| Fig.5.22 Les mesures de susceptibilité magnétique de la carotte ParLac..... | 155 |
| Fig.5.23 Grain moyen, indices de tri et indice d'asymétrie..... | 156 |
| Fig.5.24 Préparation des échantillons et mesure de la granulométrie..... | 156 |
| Fig.5.25 L'image CM..... | 157 |
| Fig.5.26 Perte au feu..... | 158 |

Deuxième Partie – Chapitre 6

| | |
|--|-----|
| Fig.6.1 Base de données cartographique delta du Danube..... | 169 |
| Fig.6.2 SIG Delta du Danube..... | 171 |
| Fig.6.3 Digitalisation des canaux sur la carte DTM1960 sous ArcGis10.2..... | 172 |
| Fig.6.4 Digitalisation des digues sur la carte DTM1970 sous ArcGis10.2..... | 172 |
| Fig.6.5 Digitalisation des lacs sur la carte DTM1980 sous ArcGis10.2..... | 173 |
| Fig.6.6 La création d'un grid 1 km ² /1km ² sous ArcGis 10.2 (Orto-Photo 2010) | 173 |

Deuxième Partie – Conclusion

| | |
|--|-----|
| Fig.2 Approche à différentes échelles..... | 176 |
|--|-----|

Troisième partie – Introduction

| | |
|---|-----|
| Fig.3 La partie fluviale du Delta du Danube..... | 179 |
| Fig.4 Localisation des carottes regroupés en régions d'étude..... | 180 |

Troisième partie – Chapitre 7

| | |
|--|-----|
| Fig.7.1 Localisation des carottes à Pardina..... | 183 |
| Fig.7.2 Localisation de la carotte ParLac02..... | 184 |
| Fig.7.3 Diagramme C/M ParLac02..... | 185 |
| Fig.7.4 Résultats des analyses et interprétation de la carotte ParLac02..... | 187 |
| Fig.7.5 Localisation de la carotte ParCan..... | 192 |
| Fig.7.6 Diagramme C/M ParCan..... | 193 |
| Fig.7.7 Résultats des analyses et interprétation de la carotte ParCan..... | 195 |
| Fig.7.8 Localisation de la carotte Stipoc..... | 200 |
| Fig.7.9 Diagramme C/M Stipoc..... | 201 |
| Fig.7.10 Résultats des analyses et interprétation de la carotte Stipoc..... | 203 |
| Fig.7.11 Logs des carottes dans la région Pardina..... | 206 |

Troisième partie – Chapitre 8

| | |
|--|-----|
| Fig.8.1 Région Fortuna-Sontea..... | 207 |
| Fig.8.2 Localisation des carottages réalisés à proximité du site archéologique de Taraschina | 208 |

| | |
|--|-----|
| Fig.8.3 Localisation de la carotte Sontea01..... | 209 |
| Fig.8.4 Diagramme C/M Sontea01..... | 210 |
| Fig.8.5 Résultats des analyses et interprétation de la carotte Sontea01..... | 213 |
| Fig.8.6 Localisation de la carotte Sontea02..... | 216 |
| Fig.8.7 Diagramme C/M Sontea02..... | 217 |
| Fig.8.8 Résultats des analyses et interprétation de la carotte Sontea02..... | 219 |
| Fig.8.9 Localisation de la carotte Tara14..... | 222 |
| Fig.8.10 Diagramme C/M Tara14..... | 223 |
| Fig.8.11 Résultats des analyses et mesures effectuées sur la carotte Tara14..... | 225 |
| Fig.8.12 Diagramme palynologique de la carotte Tara14..... | 231 |
| Fig.8.13 Localisation de la carotte Tara24..... | 234 |
| Fig.8.14 Diagramme C/M Tara24..... | 235 |
| Fig.8.15 Résultats des analyses et mesures effectuées sur la carotte Tara24..... | 237 |
| Fig.8.16 Logs des carottes dans la région Fortuna-Sontea..... | 241 |

Troisième partie – Chapitre 9

| | |
|---|-----|
| Fig.9.1 Les méandres de Mila..... | 243 |
| Fig.9.2 La bande de méandrage du chenal Sulina..... | 244 |
| Fig.9.3 Localisation de la carotte Caz01..... | 245 |
| Fig.9.4 Diagramme C/M Caz01..... | 246 |
| Fig.9.5 Résultats des analyses et interprétation de la carotte Caz01..... | 247 |
| Fig.9.6 Localisation de la carotte Caz02..... | 253 |
| Fig.9.7 Diagramme C/M Caz02..... | 254 |
| Fig.9.8 Résultats des analyses et interprétation de la carotte Caz02..... | 255 |
| Fig.9.9 Localisation de la carotte Mila..... | 259 |
| Fig.9.10 Diagramme C/M Mila..... | 260 |
| Fig.9.11 Résultats des analyses et interprétation de la carotte Mila..... | 263 |
| Fig.9.12 Logs des carottes dans la région « Les méandres de Mila »..... | 266 |

Quatrième partie – Chapitre 10

| | |
|---|-----|
| Fig.10.1 Le monde d'Hérodote vers 450 AEC reconstruction par S. Hall et Sculp. En 1860...274 | |
| Fig.10.2 Localisation de l'île de Peuce par différents chercheurs..... | 275 |
| Fig.10.3 Localisation des cité-ports d'Orgame et d'Histria..... | 276 |
| Fig.10.4 La carte du monde d'après Strabo vers 25 AEC dessinée par J. Bye. En 1814..... | 276 |
| Fig.10.5 La carte du monde de Ptolémée à partir de sa « Géographie », reconstituée au XVème siècle par Jacobus Angelus..... | 278 |
| Fig.10.6 <i>Tabula Peutingeriana</i> ; copie publié par Abraham Ortelius en 1598..... | 280 |
| Fig.10.7 Carte du monde romaine « <i>Orbis Terrarum</i> » Marcus Vipsanius Agrippa (20 EC).. | 281 |
| Fig.10.8 Les cartes du Moyen Age..... | 282 |
| Fig.10.9 Cartes TO ou psautiers..... | 283 |
| Fig.10.10 Carte du commentaire de l'apocalypse par Beatus (XIème siècle)..... | 283 |
| Fig.10.11 Représentation du delta du Danube sur les portulans..... | 284 |
| Fig.10.12 La carte de Fra Mauro de 1450..... | 286 |
| Fig.10.13 <i>Cosmographie</i> de Sebastian Münster en 1570..... | 287 |
| Fig.10.14 Les représentations du delta du Danube sur les cartes de Sebastian Munster..... | 288 |
| Fig.10.15 Représentations cartographiques influencées par Ptolémée..... | 289 |
| Fig.10.16 Les portulans de l'Epoque Moderne..... | 290 |
| Fig.10.17 Le cours du Danube de Fabius Licinius, 1559..... | 291 |

| | |
|--|-----|
| Fig.10.18 Représentations du delta sur les cartes du cours du Danube pendant l'époque moderne..... | 292 |
| Fig.10.19 « Navigationskarte der Donau » de Lauterer et Mansfeld, 1789..... | 294 |
| Fig.10.20 Le delta du Danube sur les cartes de l'Epoque Moderne (1)..... | 295 |
| Fig.10.21 Le delta du Danube sur les cartes de l'Epoque Moderne (2)..... | 296 |
| Fig.10.22 Le delta du Danube pendant l'Antiquité d'après les coordonnées de Ptolémée.... | 297 |
| Fig.10.23 Le delta du Danube pendant le Moyen Age d'après Pietro Vesconte..... | 298 |
| Fig.10.24 Le delta du Danube pendant l'Epoque Moderne d'après Fabius Licinius..... | 298 |

Quatrième partie – Chapitre 11

| | |
|---|-----|
| Fig.11.1 Le delta du Danube sur les cartes à la fin du XVIIIème siècle..... | 300 |
| Fig.11.2 Le delta du Danube sur les cartes de la première moitié du XIXème siècle..... | 301 |
| Fig.11.3 Le delta sur les cartes du cours du Danube au XIXème siècle (extraits) | 302 |
| Fig.11.4 Les premières cartes centrée sur le delta du Danube..... | 303 |
| Fig.11.5 Carte turque « La plaine de Dobrogea », sec. XVIII..... | 305 |
| Fig.11.6 La carte Autrichienne du Bas Danube..... | 306 |
| Fig.10.7 La carte russe de 1835..... | 308 |
| Fig.11.8 Carte de la Moldavie en1843..... | 309 |
| Fig.11.9 General-Karte von der Europäischen Turkei (extrait), Heinrich Kiepert, 1853..... | 310 |
| Fig.11.10 Carte turque du delta du Danube, sec. XIX..... | 311 |
| Fig.11.11 Plan des Donau-Stroms von Zemlin bis Ruszug, 1779..... | 312 |
| Fig.11.12 Projets d'aménagement de l'embouchure du Bras Sulina..... | 313 |

Quatrième partie – Chapitre 12

| | |
|---|-----|
| Fig.5 L'époque contemporaine sous l'influence de la CED et d'Antipa..... | 321 |
| Fig.12.1 Carte T. Spratt, 1856..... | 322 |
| Fig.12.2 Carte T. Spratt, 1861..... | 324 |
| Fig.12.3 La carte CED (Spratt-Hartley) 1867..... | 325 |
| Fig.12.4 La carte Spratt-Kiepert de 1867..... | 326 |
| Fig.12.5 La Carte Russe de 1870..... | 327 |
| Fig.12.6 La carte CED de 1874..... | 328 |
| Fig.12.7 Carte de l'Arme roumaine de 1886..... | 329 |
| Fig.12.8 La carte CED de 1887..... | 330 |
| Fig.12.9 Carte CED après 1902..... | 331 |
| Fig.12.10 Le delta du Danube sur la carte « La côte de la Roumanie » de Al. Catuneanu, 1899..... | 332 |
| Fig.12.11 Carte autrichienne 1910..... | 333 |
| Fig.12.12 Carte autrichienne 1918..... | 334 |
| Fig.12.13 La Carte Antipa-Vidrascu de 1911..... | 335 |
| Fig.12.14 La Carte Antipa-Vidrascu de 1917..... | 336 |
| Fig.12.15 La carte « Plans directeurs de tir », Feuille Lacul Fortuna, 1 : 20 000 publié en 1953..... | 337 |
| Fig.12.16 Les sièges de la CED..... | 338 |
| Fig.12.17 Les ingénieurs CED..... | 339 |
| Fig.12.18 Travaux CED Argagnis ; Source : CED, 1867..... | 342 |
| Fig.12.19 Localisation des travaux CED sur les bas-fonds du Bras Sulina..... | 342 |
| Fig.12.20 Le recoupement du méandre « le petit M » ; Source : CED, 1874, 1887..... | 343 |
| Fig.12.21 Les recoupement de méandres du Bras Sulina..... | 344 |
| Fig.12.22 Le bras de Sulina et la mer Noire, dessin de Charles Hartley, 1861..... | 345 |
| Fig.12.23 Evolution des bateaux avant/après 1900 à Sulina..... | 346 |

| | |
|---|-----|
| Fig.12.24 Dragages (en tonnes) effectués par la CED à l’embouchure Sulina entre 1894 et 1938..... | 346 |
| Fig.12.25 Travaux CED à l’embouchure du Bras Sulina..... | 348 |
| Fig.12.26 Les clôtures utilisées pour la pêche..... | 350 |
| Fig.12.27 Grigore Antipa et l’aménagement du Lac Razim..... | 351 |
| Fig.12.28 Carte « Delta du Danube Amélioration Hydrobiologique »..... | 352 |
| Fig.12.29 Aménagements delta du Danube 1956-1940..... | 353 |

Quatrième partie – Chapitre 13

| | |
|---|-----|
| Fig.6 L’époque contemporaine sous l’influence de la CED et d’Antipa..... | 355 |
| Fig.13.1 Le delta du Danube sur une carte de l’Armée des Etats Unis, 1943, échelle 1 : 250 000..... | 356 |
| Fig.13.2 Le delta du Danube sur une carte de l’Armée des Etats Unis, 1954, échelle 1 : 250 000..... | 357 |
| Fig.13.3 Carte topographique 1 : 25 000, feuille « Lacul Bacim », publiée en 1962..... | 358 |
| Fig.13.4 La carte hydro-topographique 1962, échelle 1 : 25 000..... | 359 |
| Fig.13.5 Carte topographique 1 : 50 000, feuille « Gorgova », publiée en 1972..... | 360 |
| Fig.13.6 Carte russe 1980(?) échelle 1 : 50 000..... | 361 |
| Fig.13.7 Carte topographique 1 : 25 000, publié en 1980..... | 362 |
| Fig.13.8 Détail de la carte « P. Gastescu » 1983, échelle 1 : 75 000..... | 363 |
| Fig.13.9 Carte topographique 1 : 100 000, feuille Sulina-1, 1997..... | 364 |
| Fig.13.10 Détail de la carte russe 2002, échelle 1 : 200 000..... | 365 |
| Fig.13.11 Les images ortho-photo du delta du Danube de 2005..... | 366 |
| Fig.13.12 Les images ortho-photo du delta du Danube de 2010..... | 367 |
| Fig.13.13 Les canaux C2 et C3, région de Pardina..... | 369 |
| Fig.13.14 Réseau des canaux 1960-2010..... | 370 |
| Fig.13.15 L’épave Rostock dans le Canal Sulina..... | 372 |
| Fig.13.16 Evolution des canaux par classe 1960-2010..... | 373 |
| Fig.13.17 Le creusement des canaux dans le delta avec des dragues..... | 373 |
| Fig.13.18 Densité des canaux 1960-2010..... | 375 |
| Fig.13.19 L’évolution des canaux 1960-2010..... | 379 |
| Fig.13.20 Types de digues..... | 381 |
| Fig.13.21 Evolution des digues par classe 1960-2010..... | 382 |
| Fig.13.22 L’évolution des digues 1960-2010..... | 384 |
| Fig.13.23 Evolution du nombre des lacs par classe 1960-2010..... | 387 |
| Fig.13.24 L’évolution du Lac Babina 1960-2010..... | 388 |
| Fig.13.25 L’évolution du Lac Bogdaproste 1960-2010..... | 388 |
| Fig.13.26 L’évolution des lacs dans l’intervalle 2005-2018..... | 388 |
| Fig.13.27 L’évolution des surfaces couvertes par des lacs 1960-2010..... | 390 |
| Fig.13.28 Transformation des canaux, digues et lacs dans le delta fluvial 1960-2010..... | 393 |

Quatrième partie – Chapitre 14

| | |
|---|-----|
| Fig.14.1 Les zones d’exploitation du roseau dans le delta du Danube..... | 396 |
| Fig.14.2 Aménagements pour l’exploitation du roseau..... | 397 |
| Fig.14.3 La récolte du roseau avec des outillages lourds sur chenilles..... | 397 |
| Fig.14.4 Les régions endiguées pour l’exploitation du roseau (Obretin, Rusca)..... | 398 |
| Fig.14.5 Les régions endiguées pour l’exploitation du roseau (Maliuc, Pardina)..... | 399 |
| Fig.14.6 L’évolution de la quantité de roseau récolté dans le delta 1955-2005 (en tonnes).... | 400 |
| Fig.14.7 Engins équipés de grands pneus à basse pression pour l’exploitation du roseau.... | 400 |
| Fig.14.8 L’exploitation du roseau dans l’A.P. Obretin..... | 401 |

| | |
|--|-----|
| Fig.14.9 Maisons en roseau village Mila23..... | 401 |
| Fig.14.10 Plan des digues et bassins à Maliuc, 1962..... | 402 |
| Fig.14.11 Pêche au courant électrique, Maliuc, 1962..... | 403 |
| Fig.14.12 US Obretin, 1962..... | 404 |
| Fig.14.13 Plan de l'aménagement piscicole Stipoc..... | 404 |
| Fig.14.14 US Rusca, 1962..... | 405 |
| Fig.14.15 Plan de l'aménagement piscicole Rusca..... | 405 |
| Fig.14.16 Plan de l'aménagement piscicole Obretin II..... | 407 |
| Fig.14.17 Plan de l'aménagement piscicole Maliuc..... | 407 |
| Fig.14.18 Plan de l'aménagement piscicole Gradina Olandezului..... | 408 |
| Fig.14.19 Plan de l'aménagement agricole Tataru..... | 409 |
| Fig.14.20 Le polder de Pardina..... | 409 |
| Fig.14.21 Plan de l'aménagement agricole Pardina..... | 410 |
| Fig.14.22 Plan de l'aménagement agricole Sireasa..... | 410 |
| Fig.14.23 Plan de l'aménagement agricole Carasuhat..... | 411 |
| Fig.14.24 Canal bordée de saules près de Mila 23..... | 412 |
| Fig.14.25 Alignement de peupliers coupés sur la digue du village de Gorgova, bras Sulina..... | 412 |
| Fig.14.26 L'enceinte Papadia, 2005..... | 413 |
| Fig.14.27 Plantation d'accacia à Papadia..... | 414 |
| Fig.14.28 Reconversion des fermes piscicoles en fermes agricoles..... | 415 |
| Fig.14.29 Renaturation avant/après..... | 416 |
| Fig.14.30 Ouverture de la digue de ceinture dans l'aménagement agricole Babina, 1994..... | 416 |
| Fig.14.31 L'évolution des surfaces (ha) soumise à la renaturation dans le delta du Danube..... | 417 |
| Fig.14.32 Réhabilitation du système hydrologique dans le delta fluviale 1991-2010..... | 418 |
| Fig.14.33 Des infrastructures touristiques dans le delta avant 1990..... | 419 |
| Fig.14.34 Les hôtels dans le delta..... | 420 |
| Fig.14.35 Les nouveaux campings dans le delta..... | 420 |
| Fig.14.36 Les pensions touristiques dans le delta..... | 420 |
| Fig.14.37 Synthèse de transformations du delta du Danube après 1940..... | 423 |

Quatrième partie – Conclusion

| | |
|---|-----|
| Fig.7 Synthèse des interventions dans le delta du Danube..... | 425 |
|---|-----|

Conclusion générale

| | |
|--|-----|
| Fig.8 Echelle d'analyse des sources historiques, archivistiques et données de terrain..... | 429 |
| Fig.9 Forçages anthropiques dans l'évolution du delta du Danube..... | 431 |

Liste des tableaux

| | |
|---|-----|
| Première Partie – Chapitre 1 | |
| Tableau 1.1 : Données morphométriques sur les deltas..... | 19 |
| Première Partie – Chapitre 2 | |
| Tableau 2.1 : Données des principaux affluents du Danube..... | 56 |
| Deuxième Partie – Chapitre 5 | |
| Tableau 5.1 Caractéristiques des carottages..... | 136 |
| Tableau 5.2 Echantillons datés..... | 159 |
| Troisième partie – Chapitre 7 | |
| Tableau 7.1 Espèces des coquilles – carotte ParLac01..... | 190 |
| Tableau 7.2 Espèces des coquilles – carotte Coquilles ParLac02..... | 190 |
| Tableau 7.3 Datations carotte ParLac02..... | 191 |
| Tableau 7.4 Espèces des coquilles – carotte ParCan..... | 199 |
| Tableau 7.5 Datations carotte ParCan..... | 199 |
| Tableau 7.6 Espèces des coquilles – carotte Stipoc..... | 205 |
| Troisième partie – Chapitre 8 | |
| Tableau 8.1 Espèces des coquilles – carotte Sontea01..... | 215 |
| Tableau 8.2 Datations carotte Tara14..... | 229 |
| Tableau 8.3 Datations carotte Tara24..... | 240 |
| Troisième partie – Chapitre 9 | |
| Tableau 9.1 Datations carotte Caz01..... | 252 |
| Tableau 9.2 Datations carotte Caz02..... | 258 |
| Tableau 9.3 Datations carotte Mila..... | 265 |
| Quatrième partie – Chapitre 10 | |
| Tableau 10.1 Cartes du cours du Danube pendant l’Epoque Moderne..... | 293 |
| Quatrième partie – Chapitre 12 | |
| Tableau 12.1 Travaux réalisés par la CED pour la correction des bas-fonds..... | 343 |
| Tableau 12.2 Travaux de recouplement de méandres réalisés par la CED..... | 344 |
| Tableau 12.3 Dragages effectués par la CED à l’embouchure Sulina entre 1894 et 1938..... | 347 |
| Quatrième partie – Chapitre 13 | |
| Tableau 13.1 Evolution de la longueur totale (km) des canaux par classe et par année..... | 369 |
| Tableau 13.2 Evolution des classes de densité des canaux per km ² par année..... | 374 |
| Tableau 13.3 Evolution des classes de densité des canaux par intervalle..... | 377 |
| Tableau 13.4 Evolution de la longueur des digues par classes et par année..... | 382 |
| Tableau 13.5 Evolution des classes de densité des digues par année..... | 383 |
| Tableau 13.6 Evolution du nombre des lacs par classes et par année (en km ²)..... | 386 |
| Tableau 13.7 Evolution des classes de densité des lacs par année..... | 389 |
| Quatrième partie – Chapitre 14 | |
| Tableau 14.1 Les projets de renaturations dans le delta du Danube..... | 417 |

Trajectoire d'évolution d'un système deltaïque anthropisé : le delta du Danube Etude couplée par les archives cartographiques et sédimentaires

Les systèmes deltaïques sont des milieux très dynamiques et fragiles et, à la fois, très attractives pour les sociétés humaines. Généralement très peuplées, ces régions ont été fortement anthropisées et leur fonctionnement a été profondément altéré par des interventions pluriséculaires, voire plurimillénaires. Contrairement à la plupart des deltas du monde, le delta du Danube, situé à l'aval d'un bassin versant qui draine une partie importante de l'Europe, reste jusqu'à nos jours un espace très peu habité à cause de son histoire mouvementée.

Cette thèse propose une reconstitution de la trajectoire d'évolution de la partie amont du delta, considérée comme la partie fluviale, plus ancienne et plus complexe, qui a été jusqu'à présent moins étudiée que sa partie fluviomarine. Les objectifs de ce travail sont de reconstituer l'évolution des paysages du delta du Danube avant les aménagements à l'aide des carottages, et de définir la périodisation des transformations anthropiques dans le delta par l'analyse des cartes et la recherche des sources documentaires inédites. L'étude se fonde sur une approche géohistorique et une approche de terrain, à trois échelles spatiales : à l'échelle du site, par les carottages ; à l'échelle des régions, à travers les projets d'aménagements trouvés dans les archives ; à l'échelle de la totalité de notre terrain d'étude, à l'aide des cartes.

Le travail mené sur les archives du sol, qui a permis d'avoir un aperçu de la formation et de l'évolution de plusieurs régions du delta fluvial pour des intervalles de temps allant jusqu'à 10 000 ans dans certains cas, montre que la construction des paysages dans cette région est assez récente. L'analyse des sources d'archives atteste que le rôle de l'homme dans cette construction avant la seconde moitié du XIX^{ème} siècle est d'une moindre importance. C'est surtout après 1856, avec la création de la Commission Européenne du Danube, et plus encore après la Deuxième Guerre mondiale, durant la période communiste, que les interventions anthropiques se sont multipliées et ont modifié, parfois de manière irréversible, la morphologie de cette vaste zone humide.

Mots clés : Delta du Danube, analyses sédimentaires, interventions anthropiques, trajectoire d'évolution, géohistoire

Trajectory of evolution of an anthropized deltaic system: the Danube Delta Combined study of cartographic and sedimentary archives

Delta systems are very dynamic, fragile environments and, at the same time, very attractive for human societies. Generally very populated, these regions have been highly anthropized and their functioning has been profoundly altered by interventions over centuries or even millennia. Unlike most deltas in the world, the Danube delta, located downstream from a watershed that drains a large part of Europe, remains a very sparsely populated area to this day because of its turbulent history.

This thesis proposes a reconstruction of the trajectory of evolution of the upstream part of the delta, considered the fluvial part, older and more complex, which has so far been less studied than its fluviomarine part. The objectives of this study are to reconstruct the evolution of landscapes of the Danube delta before the human intervention using cores, and to define the periodization of anthropogenic transformations in the delta by analyzing maps and searching for unpublished documentary sources. The study is based on a geohistoric approach and a field approach, at three spatial scales: at the site scale, by coring; at the regional level, through development projects found in the archives; across our entire study area, using maps.

The work carried out on the soil archives, which has provided us with an overview of the formation and evolution of several regions of the river delta for time intervals of up to 10 000 years in some cases, show that the construction of landscapes in this region is quite recent. The analysis of archival sources attests that the role of man in this construction before the second half of the 19th century is of less importance. It was especially after 1856, with the creation of the European Commission of the Danube, and even more after the Second World War, during the communist period that anthropogenic interventions multiplied and modified, sometimes irreversibly, the morphology of this vast wetland.

Keywords: Danube Delta, sedimentary analysis, anthropogenic interventions, trajectory of evolution, geohistory