

DU Guide Nature Marquenterre

L'eau en Baie de Somme et sur le littoral picard

*Excursion dans les Bas-Champs de Cayeux
et la Baie de Somme*

Jean-Paul Ducrotoy et Geoffroy Mahieux

Université de Picardie Jules Verne



Septembre 2011

L'eau en Baie de Somme et sur le littoral picard: *Excursion dans les Bas-Champs de Cayeux et la Baie de Somme*

<i>Sommaire</i>	<i>Pages</i>
INTRODUCTION	4
GEOLOGIE	4
GEOMORPHOLOGIE - SEDIMENTOLOGIE	5
CLIMATOLOGIE	6
1^{ER} ARRET : LA FALAISE D'AULT – VUE PANORAMIQUE SUR LES BAS- CHAMPS	7
LE CONTEXTE DE LA MANCHE.....	7
LA FALAISE DE AULT-ONIVAL	7
2^{EME} ARRET : LES MARAIS DE LANCHERES (OU DE POUTRAINCOURT)	9
UNE ZONE PROFONDEMENT ANTHROPISEE MAIS A VOCATION NATURELLE.....	9
3^{EME} ARRET : LE HABLE D'AULT A CAYEUX.....	11
COMMENT GERER UN MILIEU DYNAMIQUE PAR EXCELLENCE ?	11
4^{EME} ARRET : LE POULIER DU HOURDEL.....	13
CADRE GEOGRAPHIQUE	13
DYNAMIQUE DU CORDON LITTORAL	14
5^{EME} ARRET : LA FALAISE MORTE DU BOIS HOUDAN.....	16
UNE APPROCHE GEOMORPHOLOGIQUE.....	16
LES PHANEROGAMES DU SCHORRE	16
6^{EME} ARRET : LE CAP HORNU	18
CHENAUX ET ENVASEMENT.....	18
RESTAURATION ECOLOGIQUE.....	19
7^{EME} ARRET : LA DIGUE DU CHEMIN DE FER ET LE HAUT ESTUAIRE.	20
HISTORIQUE DES AMENAGEMENTS	20
8^{EME} ARRET : LE BASSIN DE CHASSE DU CROTOY ET LE PORT DU CROTOY.....	21
LES SEDIMENTS	21
LE BENTHOS ET SON EXPLOITATION.....	22
9^{EME} ARRET : L'ESTUAIRE DE LA MAYE.....	23
UN MILIEU INTERTIDAL PAR EXCELLENCE.....	23
LE MACROZOOBENTHOS INTERTIDAL.....	23
LES PLANTES DU SCHORRE.....	23

Excursion de bio-sédimentologie sur le littoral picard

LA METHODE BIO-GEOMORPHOLOGIQUE.....	24
<i>Le suivi à long-terme des communautés benthiques</i>	24
<i>Les bivalves estuariens</i>	24
EN MARGE DE L'EXCURSION : APPROCHES THEORIQUE ET PRATIQUE	26
UNE APPROCHE EXPERIMENTALE POUR ÉCHANTILLONNER EN RELATION AVEC LES MÉCANISMES POTENTIELS	26
L'APPROCHE ECOSYSTEMIQUE	26
<i>Evolution géomorphologique à long, moyen et court terme des estuaires du Nord-Ouest de la France</i>	26
<i>Evolution des faciès bio-sédimentaires</i>	27
INTERPRETATION DES RESULTATS	28
POLITIQUES DE L'AMENAGEMENT: DU NIVEAU REGIONAL A LA COLLABORATION INTERNATIONALE	32

L'eau en Baie de Somme et sur le littoral picard

Excursion dans les Bas-Champs de Cayeux et la Baie de Somme

Introduction



L'excursion est organisée de façon à découvrir, dans un premier temps, le **cadre géologique et géomorphologique**. Une fois le décor mis en place, les "acteurs" seront présentés : la faune et la flore dans leur contexte écologique, ainsi que les sociétés humaines qui ont marqué profondément les paysages. Les 9 arrêts prévus sont indépendants et peuvent bien sûr s'effectuer dans tout ordre qui convient (Figure 1).

Figure 1 : Carte de la Baie de Somme (France) avec les arrêts prévus pour l'excursion

A l'heure actuelle, le littoral picard, relativement épargné par les aménagements intempestifs, conserve des milieux à composantes naturelles intéressants. Le thème de l'eau a été retenu pour l'excursion. En effet, **l'eau est omniprésente**, qu'elle soit d'origine marine, continentale ou souterraine. C'est aussi un moyen de dérouler l'écheveau des utilisations multiples du milieu : le tourisme et la baignade, la pollution industrielle et domestique depuis le bassin versant, la « défense contre la mer » dans les Bas-Champs, etc.

Géologie

La géologie de la Picardie maritime est dominée par la **craie secondaire** du Turonien et du Coniacien qui se superposent. De fréquents accidents siliceux s'y développent en lits et dalles parfois obliques : les silex.

La plaine maritime picarde peut être définie comme un synclinorium se décomposant en une série d'accidents structuraux d'amplitude variable (Figure 2) :

- Synclinal de la Somme
- Anticlinal du Ponthieu au niveau du Marquenterre entre Somme et Authie
- Synclinal de l'Authie
- Anticlinal entre Authie et Canche

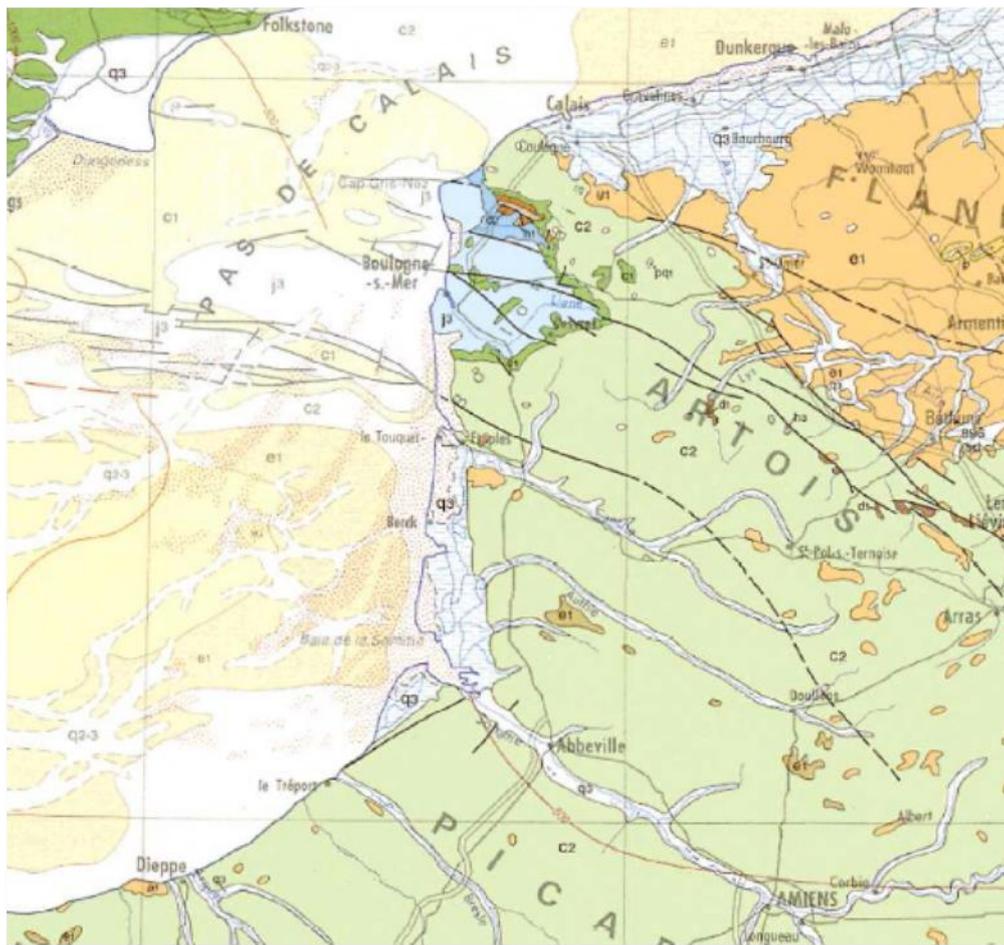


Figure 2 : Cadre général (document BRGM) – On notera l'orientation des 4 fleuves côtiers (du nord au sud : Canche, Authie, Maye, Somme) ainsi que la position de la Plaine Maritime Picarde et du synclorium

Géomorphologie - Sédimentologie

Le **contexte géomorphologique et hydrodynamique** de la Manche est particulier et offre des conditions intéressantes de transition de par la dimension des estuaires qui s'y développent en association avec l'importance des hauteurs de marée. En forme d'entonnoir, la Manche est une mer côtière couloir où s'organise une circulation alternative mettant en communication l'Atlantique et la Mer du Nord au travers du Pas de Calais. Le domaine des plaines maritimes picardes, avec ses quelques passes, est particulier. Il se situe dans une zone d'élargissement où se produit un ralentissement des courants de marée qui réorganisent les structures géomorphologiques. Le **matériel fluvial des paléo-vallées marines** est ainsi redistribué par une circulation générale quantitativement importante qui occasionne aussi des accélérations comme devant Fécamp (au sud de la côte picarde) et dans le Pas de Calais (au nord). Ces variations de la vitesse des courants de marée côtiers provoquent une accumulation latérale dans les zones de vitesse réduite, comme devant la Baie de Somme. Ce phénomène de ralentissement près des côtes s'amplifie dans les hautes vallées des fleuves côtiers Somme, Maye, Authie et Canche. Ainsi, devant la côte picarde, des quantités importantes de sédiments se sont accumulés sous l'effet secondaire de la marée, lié au volume oscillant des domaines estuariens. Dû à une

Excursion de bio-sédimentologie sur le littoral picard

accumulation sédimentaire constante, ce piège s'avère finalement excédentaire et un **prisme de sédiments plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur** s'est accumulé. Ces estuaires se caractérisent par des vallées toutes ouvertes vers l'ouest sous l'influence périodique des fortes houles d'origine du sud-ouest qui ont tendance à les ouvrir largement.

Au cours de la transgression marine flamandienne qui se poursuit et s'accélère de nos jours (en relation avec le changement climatique en cours), il s'est produit un piégeage de sables quartzeux apportés par la transgression. Il s'est alors créé un volume oscillant dans chaque basse vallée à cause d'un courant de marée induit latéral qui se comporte comme une véritable pompe à sédiments. Après un certain temps, le prisme sédimentaire qui s'est mis en place est suffisant pour briser la houle et une barrière s'installe alors sur un substrat topographiquement élevé. On assiste alors à la création de zones internes à hydrodynamisme réduit qui se différencient de zones externes plus dynamiques, le cordon littoral se mettant en équilibre avec la houle. Une légère transgression (comme celle que nous avons connue récemment) provoque un phénomène de piégeage et de décantation dans les zones internes accélérée par une **production endémique bioclastique importante**, induite par le benthos, notamment les coques *Cerastoderma edule* (Mollusque, bivalve). Le phénomène de piégeage s'est renforcé d'année en année et une **courbe de marée asymétrique** en a résulté où le flot, plus rapide que le jusant, provoque une perte de compétence des courants entraînant un atterrissement progressif des espaces estuariens.

Climatologie

La plaine maritime picarde était sous l'emprise d'un climat franchement continental avant le réchauffement qui suivit la dernière glaciation Würmienne, il y a dix-huit mille ans.

Actuellement, le climat est de type **océanique tempéré**. La Picardie maritime appartient à la façade pluvieuse normano-picarde (850 à 900 mm de précipitations annuelles dans le Marquenterre). Les vents se montrent très présents sur le littoral exposé obliquement aux vents dominants du sud-ouest (DUCROTOY, 1984).

L'équilibre des structures géomorphologiques décrites ci-dessus dépend de la stabilité du prisme sédimentaire. Sa surface, pour un volume quasiment constant, dépend du niveau de la mer et de sa dynamique. Avec les variations climatiques actuelles et une possible accélération de l'élévation du niveau de la mer, on peut se demander si le phénomène de colmatage ne risque pas de s'inverser. L'eau dans sa dynamique marine trouve ici toute son importance. Dans le cas d'une dynamique accrue, les cordons littoraux risquent de se déplacer ou de se fractionner alors que la surface du prisme tendrait à se réduire. Le modèle classique du colmatage et de "l'ensablement" doit donc être revu à la lueur de l'évolution du climat et de la variabilité accrue des facteurs naturels et océaniques. Devra-t-on alors parler d'érosion?

1^{er} arrêt : la falaise d'Ault – vue panoramique sur les Bas-Champs

Falaise vive et falaise morte – Paléo-rivage et limites actuelles – L'eau destructrice et constructrice.

Le contexte de la Manche

Les falaises qui bordent le détroit du Pas-de Calais, en Angleterre et en France, seraient d'**origine tectonique et non érosive**, l'eau s'engouffrant dans ce passage étroit. D'un point de vue structural, le modèle expliquant la formation du Pas-de-Calais le plus satisfaisant est celui proposé par COLBEAUX *et al.* en 1977. Ce modèle repose sur la notion de blocs et sous-blocs délimités par des failles ou zones faillées mises en évidence grâce à l'utilisation d'imageries satellitaires. Il explique la formation du Pas-de-Calais par une structure en graben au cours du Pléistocène, postérieurement aux dépôts sédimentaires, et donc par un jeu de failles qui aurait mis en communication la Manche et la Mer du Nord.

Nous avons vu que le gradient de profondeurs décroissantes, de l'entrée de la Manche au large de la Bretagne jusqu'au détroit du Pas-de-Calais, ainsi qu'un rétrécissement progressif donnent à la Manche une forme d'entonnoir. L'**onde de marée** y acquiert une vitesse et une amplitude croissantes, en particulier dans les baies telles que la baie du Mont-Saint-Michel ou les baies picardes où elle atteint 9,80 m, ce qui permet de qualifier ces estuaires de **mégatidaux**. Le littoral picard se caractérise par la présence de falaises crayeuses de l'ère secondaire (Bois de Cise), au sud, sur lesquelles s'appuie un cordon littoral protégeant un **complexe estuarien** dont la baie de Somme est l'élément-clé.



Figure 3 : Vue de Ault vers le nord en 1900 et en 2010

La flèche rouge sert de repère, indiquant la même maison

La falaise de Ault-Onival

Du haut de la falaise de Ault-Onival, il est possible d'observer ces grandes lignes dans le paysage, y compris le paléo-rivage qui s'étend de Ault au Cap Hornu (4^{ème} arrêt) et les Bas-Champs situés en arrière. Le jeu de photographies présenté en figure 3, montre l'importance de la falaise d'Ault-Onival, comme "charnière" entre la falaise crayeuse et la flèche littorale de galets retenue par les épis

Excursion de bio-sédimentologie sur le littoral picard

L'érosion de la falaise (Figure 4) se manifeste par le recul de celle-ci au regard d'une

limite antérieure qu'elle atteignait. Le recul de la falaise laisse apparaître une plate-forme d'érosion ou platier. Jadis un village s'y était installé. La nature, l'état et la disposition des roches interviennent dans l'évolution des falaises et des plates-formes. Le recul des falaises est important en Picardie car la craie est friable.

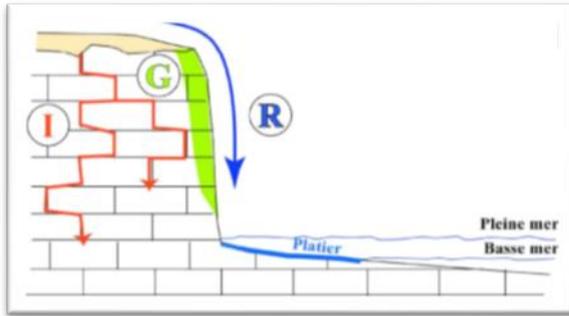


Figure 4 : mécanismes entrant dans l'érosion de la falaise de craie

I infiltrations – G gel – R ruissellement

TRAVAUX DIRIGES

Repérez les grandes unités morphologiques qui s'offrent à vous du haut de la falaise et citez-les :

Dessinez un bloc diagramme mettant en place ces éléments :

2^{ème} arrêt : Les Marais de Lanchères (ou de Poutraincourt)

Drainage – Plantes des marais

Une zone profondément anthropisée mais à vocation naturelle

Le marais de Lanchères est la zone la plus humide des Bas-Champs.

La végétation typique du marais s'y présente : saule, phragmites (roseaux). Les ruisseaux sont utilisés pour tenter d'évacuer les eaux. Au printemps, on pratique le faucardage des ruisseaux (pour éliminer les herbes) et les curer (pour éliminer les sédiments) afin de permettre un bon écoulement des eaux (Figure 5).



Figure 5 : Végétation entretenue et « spontanée » des marais de Lanchères



Figure 6 : Carex *in situ*

Ceci favorisera le drainage. L'eau étant omniprésente due à la présence très haute de la nappe (- de 20 cm de profondeur), les plantes vont avoir des **stratégies pour s'élever au-dessus du niveau d'eau**. En l'occurrence, elles poussent sur des petites mottes de terre, appelées touradons. Les espèces qui s'y développent sont le carex (laîche) (Figure 6) et autres graminées. On aperçoit aussi des galeries de rats musqués. Cela pose le problème de la stabilité des berges : dégâts dus aux animaux et aussi du fait qu'il va falloir choisir entre profondeur du ruisseau pour évacuer l'eau et stabilité des berges et trouver le juste milieu.

Excursion de bio-sédimentologie sur le littoral picard

Les **rigoles** servent à rabattre la nappe pour favoriser les cultures (Figure 7), car ici, les terrains sont extrêmement fertiles (indice des sols de 4 à 5 sur 5). On a exploité des roselières (pour le chaume des toitures) jusque dans les années 1990. On les coupait en automne-hiver. Tout ce réseau de rigoles est visible sur le cadastre. Nous sommes à une altitude de +4m.

Les canaux qui servent au drainage (et aussi à l'irrigation) se nomment les **courses**. Une course correspond à un ancien chenal de marée qui drainait les mollières avant l'isolement par les digues.



Figure 7 : Vue aérienne et coupe d'une pâture avec ses rigoles

Le **Canal de Lanchères** réceptionne les courses et emmène les eaux vers leur exutoire. Il a été construit en 1773. Avant sa construction, le drainage naturel allait vers le Sud (Ault), par la suite, on a conduit les eaux vers le Nord (Hourdel). Il existe deux canaux parallèles dans les Bas-Champs : celui de Lanchères et celui de Cayeux. Ils aboutissent dans le Courant à Poissons qui se jette au Hourdel, via une porte à la mer (4^{ème} arrêt).

TRAVAUX DIRIGES

Repérez les diverses structures indiquées ci-dessus et montrez comment la végétation s'y répartit :

3^{ème} arrêt : Le Hable d'Ault à Cayeux

Laisser-faire – Repli stratégique – Résistance ?

Comment gérer un milieu dynamique par excellence ?

Les Bas-Champs consistent en espaces de plaine littorale imparfaitement drainés, cloisonnés par **des digues naturelles (foraines) ou artificielles (royons)** et utilisés pour le pacage des moutons ou certaines cultures, notamment de fleurs et de légumes (au nord de la baie) : ils ne sont pas à l'abri des inondations, d'origine fluviale ou marine, en cas de fortes pluies et de tempêtes susceptibles de rompre les digues (voir ci-dessous) ; ils sont drainés par des canaux. L'eau, qu'elle soit marine ou sous forme de précipitations, qu'elle soit liquide ou sous forme de glace en hiver, apparaît donc ici comme agent d'érosion vis-à-vis des falaises vives mais aussi comme constructeur pour le cordon de galets qui protège les marais du Hâble d'Ault. Cependant, dans les Bas-Champs, les choses sont loin d'être tranchées car le cordon littoral a vocation à s'ouvrir sous l'influence des coups de boutoir de la mer (Figure 8). Les humains ont

du mal à vivre dans un milieu aussi instable et tentèrent très tôt de mettre de l'ordre (leur ordre !) dans tout cela.



Figure 8 : Carte de Bellin Jacques-Nicolas (1703-1772) montrant l'ouverture du Hâble au XVIII^{ème} siècle

Le nord est à gauche.

Récemment, vers la fin du XX^{ème} siècle, la **pérennisation du trait de côte** a été réalisée par la construction d'épis de béton qui ont pour but de retenir les galets en transit vers le nord, le long de la côte picarde. Paradoxalement, les galets sont considérés comme une **ressource minière** : les quantités disponibles, leur teneur inégalée en silice (plus de 95 %) en font un article commercial intéressant. On l'utilise en dérivé après calcination et broyage, pour la fabrication de routes, de bâtiments, mais également pour la fabrication de mobilier sanitaire, de peintures, de produits cosmétiques, de prothèses dentaires.

Excursion de bio-sédimentologie sur le littoral picard

En 1990, une rupture du cordon littoral a provoqué une **inondation des Bas-Champs**. Cet évènement a provoqué une réflexion sur le bien-fondé de cette exploitation et sur le besoin de maintenir le trait de côte coûte que coûte (BAWEDIN, 2007) (Figure 9). Les mentalités politiques n'étant pas prêtes à accepter le changement dans des pratiques routinières, les gestionnaires ont décidé de continuer d'entretenir artificiellement le cordon mais surtout de le consolider par une infrastructure conséquente. Cependant afin de garder la vocation des marais pré-existants comme réserve de chasse le Conservatoire du Littoral s'est vu contraint de faire « **réapparaître progressivement des zones humides auparavant morcelées** ».

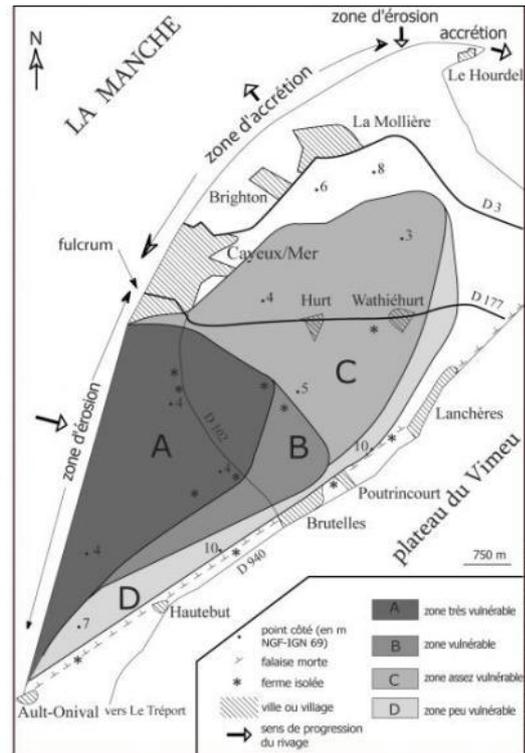


Figure 9 : Vulnérabilité des Bas-Champs à l'inondation (Bawedin, 2007)

TRAVAUX DIRIGES

Faites une liste des contraintes environnementales dont on devra tenir le compte le jour où l'on décidera de ré-ouvrir le Hâble à la mer :

Pourquoi une approche pluri-disciplinaire est-elle nécessaire dans ce genre de démarche ?

4^{ème} arrêt : le poulier du Hourdel

Le cordon de galets et autres structures – Le complexe estuarien

Cadre géographique

Située dans le golfe de la plaine maritime picarde, la baie de Somme est le plus méridional des trois estuaires picards : **la Canche, l'Authie et la Somme** dans lequel se jette **la Maye**, tous trois orientés à l'est-sud-est / nord-nord-ouest. L'ensemble constitue en fait un complexe estuarien profondément influencé par l'action humaine et bien étudié par les géomorphologistes du XX^{ème} siècle comme DEMANGEON (1905), BRIQUET (1930), TRICART (1951), DALLERY (1955), et VERGER (1968).

Dans ce complexe estuarien, depuis la Pointe du Hourdel, on peut observer les grandes unités géomorphologiques de la Baie de Somme (VERGER, 2005):

- le **cordons littoral de galets**, d'Onival, où il prend racine, jusqu'au Hourdel où il atteint la cote NGF de 10 m environ (voir la figure 11 montrant l'évolution de la flèche en forme de poulier);
- les **Bas-Champs** de Cayeux à une cote NGF de 4 m et qui se présentent comme une mosaïque triangulaire de terrains soustraits définitivement à l'influence marine au moyen de digues de renclôture ;
- le **cordons de dunes** qui s'étend de la Pointe de Saint-Quentin-en-Tourmont jusqu'à la baie d'Authie, s'élevant jusqu'à une quinzaine de mètres de hauteur ;
- le **Marquenterre** qui occupe l'espace entre le cordon dunaire et les marais arrière-littoraux de Noyelles, Rue et Ponthoile ;
- la **baie de Somme** elle-même où se jettent la Somme et la Maye qui couvre un vaste estuaire pseudo-deltaïque découvrant environ 72 km² d'espaces intertidaux et où se développe un fort gradient d'immersion-émersion ;
- un littoral fossile qui limite le plateau crayeux dans l'arrière-pays sous forme d'une **falaise morte** qui s'élève jusqu'à 20m de hauteur au Cap Hornu (6^{ème} arrêt).

Les **caractéristiques géomorphologiques** sont mises en évidence d'après une imagerie aérienne (Figure 10) ou satellitaire et peuvent être reprises comme les caractéristiques générales des estuaires mégatidaux. Ces caractéristiques portent sur l'identification, par exemple, des éléments paysagers suivants :

- estran
- substrat : bancs sableux ou vasières (slikkes) / blocs rocheux ou platier rocheux
- cordons littoraux (galets / dunes)
- delta de marée / couloir
- schorre / phytobenthos
- courantologie / chenaux / exposition



Figure 10 : Vue aérienne vers le nord de la Baie de Somme

Dynamique du cordon littoral

Toute la série de cordons de galets entre le phare du Hourdel et la position actuelle de l'extrémité nord des galets a été formée progressivement au cours du XXe siècle par l'effet de tempêtes majeures. Elle matérialise ce phénomène de croissance vers le nord du cordon de galets qui a valeur de barrière littorale. Comme elle en constitue la terminaison active, elle porte le nom de « flèche littorale ». Cette flèche littorale constitue la bordure sud de la baie de Somme et contribue à rétrécir l'entrée de la baie, cela correspond à un « poulier ».

On peut noter que cette croissance dans le récent est de l'ordre de 400 à 500m par siècle. En extrapolant cette vitesse, il faudrait 3000 ans pour construire la totalité des 15 km du cordon d'Ault au Hourdel !

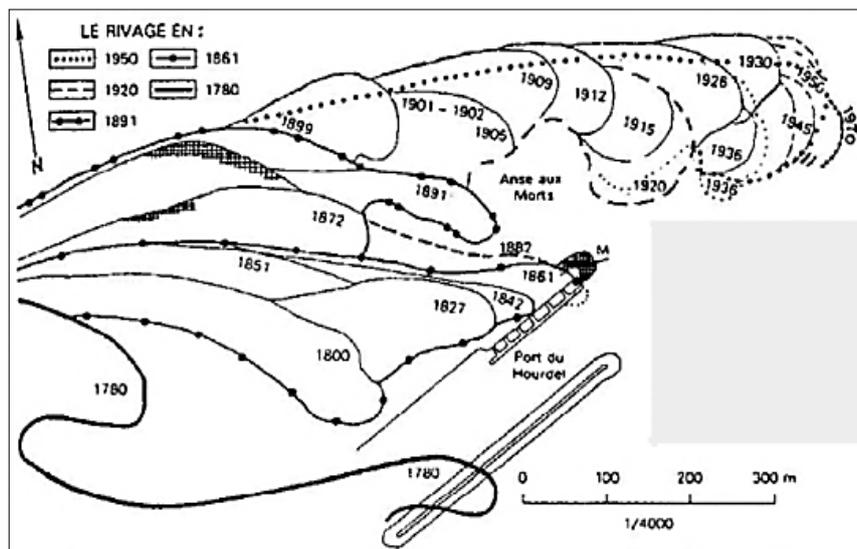


Figure 11 : Evolution de la pointe du Hourdel de 1780 à 1970 (adapté de Dallery, 1955)

TRAVAUX DIRIGES

Envisagez comment le cordon littoral pourra évoluer sous l'influence d'une accélération de la montée du niveau de la mer, liée au changement climatique actuel.

Listez vos différentes hypothèses :

5^{ème} arrêt : la falaise morte du Bois Houdan

Un rivage dynamique: Mollières – Renclôtures – Butte témoin de Saint-Valery

Une approche géomorphologique

Deux types d'emprise sont à l'origine de l'accélération des **modifications géomorphologiques** de la baie de Somme telles qu'elles ont été envisagées lors des arrêts précédents:

- La conquête agricole (à constater ici)
- La navigation dans l'estuaire (dont l'effet sera commenté lors de 6^{ème} arrêt au Cap Hornu)

La **construction des renclôtures** (derrière les digues protégeant des espaces soustraits à l'estuaire) s'est échelonnée sur deux millénaires, mais a pris de l'ampleur seulement au cours des XIX et XX^{ème} siècles. En fait, dès la préhistoire, il est possible que les bergers aient utilisé des fascines pour protéger leurs troupeaux contre les fortes marées. Au Moyen-Age, la conquête de terres agricoles coïncide avec le défrichage des espaces forestiers. Dans le secteur qui nous intéresse ici, entre Hourdel et Hornu, s'établit une série de renclôtures qui s'organisent en marches d'escalier. La plus ancienne - c'est-à-dire la plus lointaine - date de 1625 (la plus vieille actuellement recensée en Picardie maritime), la plus récente de 1860. Les dernières digues, construites à partir de 1962, bordent le Parc Ornithologique du Marquenterre que l'on aperçoit vers le nord. A l'est du Crotoy, certaines digues qui protègent Favière et Morlay datent de 1782 et 1835.

Les phanérogames du schorre

De proche en proche, les renclôtures déplacent vers l'aval les phénomènes de sédimentation, dont profitent les plantes du schorre. **Les mollières (schorre)** couvrent une superficie d'environ 25 km². Ce couvert végétal s'est installé en fond de baie en moins d'un siècle. Spartines et salicornes colonisent les vasières (slikke) qui précède le schorre. Celui-ci compose une véritable mosaïque d'associations végétales extrêmement sensibles aux niveaux d'immersion par la marée. L'eau apparaît ici comme agent structurant des communautés vivantes. La plante typique du bas-schorre est la salicorne ou cornichon de mer (*Salicornia sp.*). On passe des zones à salicorne puis à obione (*Halimione portulacoides*) à une séquence à *Glyceria maritima*, *Suaeda maritima* ou *Aster tripolium*, pour trouver ensuite le lilas de mer (*Limonium vulgare*) puis *Armeria maritima* (l'armoise). Dans les zones gazonnées (*Festuca rubra*) paissent les moutons. Des **mares à huttes** y sont creusées, la chasse attirant des amateurs de plus en plus lointains de l'Europe du nord-ouest.

Les humains apparaissent ici comme imposant leur ordre vis-à-vis de l'eau, séparant le domaine marin du domaine terrestre. Même dans le domaine estuarien relictuel, l'eau se voit cantonnée à l'occupation des mares à hutte consacrées à la chasse au gibier d'eau.

TRAVAUX DIRIGES

Dessinez un profile montrant la zonation des plantes :

6^{ème} arrêt : le Cap Hornu

Les divagations du chenal – Digue submersible - Géologie

La digue submersible du Cap Hornu s'étire sur 1750 m vers le nord-ouest. Construit en palplanches d'acier, l'ouvrage fut édifié en 1965 en remplacement de l'ancienne digue Pinchon, détruite plusieurs fois par des tempêtes. Vers Saint-Valery, le quai Jeanne d'Arc protège les terrains en contre-bas de la vieille ville. Passé le port, les écluses (agrandies et confortées en 2010-2011) limitent la pénétration de la marée dans le canal de la Somme qui joint Abbeville à la mer. La grande "Affaire" de la baie de Somme fut en effet la construction du canal maritime de 1785 à 1827. L'atterrissement de la haute-baie était inéluctable. Ainsi furent perdus de vastes espaces estuariens, mais les humains avaient réussi à imposer leur ordonnancement aux flots aventuriers.

Chenaux et envasement

Des terrains du tertiaire inférieur du Thanécien au Sparnacien survivent sous forme de buttes témoin comme ici à Saint-Valery.

D'un point de vue structural, le modèle de COLBEAUX *et al.* (1977) [voir commentaires lors du 1^{er} arrêt] permet d'expliquer les **divagations cycliques du chenal de la Somme** (tantôt au nord ou au sud) par des oscillations du sous-bloc sous-jacent. Les digues submersibles qui en un siècle ont rigidifié le chenal de la Somme, de la deuxième moitié du XIX^{ème} siècle à 1965, empêchent maintenant ces dérives.

Le modèle dynamique du colmatage de la baie repose sur la définition d'**unités sédimentaires** mises en évidence par DUPONT en 1981. Les sables quartzeux (médiane de 200 à 300 μm) constituent l'essentiel du prisme sédimentaire. Un ensemble de sédiments fins caractérise donc la baie à l'exception des cordons coquillers actuels ou fossiles et de la flèche littorale de galets du Hourdel. En fond de baie, la slikke contient localement une proportion notable de sablons, sablons vaseux et vases (pélites). Un gradient d'enrichissement en carbonates est superposable au gradient d'affinement du sédiment. Certains secteurs atteignent des pourcentages élevés en matière organique (jusqu'à 17 % au Crotoy par exemple).

La zone abritée du Hourdel - Cap Hornu constitue un véritable laboratoire pour l'étude des influences des aménagements sur la dynamique estuarienne. L'eau se voit ici contrainte dans sa circulation. Les conséquences en sont lourdes pour la vitesse d'évolution du système qui s'accélère (en l'état actuel des choses) vers la « couloirisation » de l'estuaire. L'espace sous nos yeux correspond à la **sous-unité estuarienne abritée** placée sous la protection de la **digue submersible du Cap Hornu** construite en 1969. La haute slikke succède rapidement au schorre dans les années 70 et, finalement recouvrira la quasi-totalité de la zone en 1990. Le pré-schorre, zone de transition, est présentement peu développé et l'on descend brutalement vers l'espace où divaguait l'ancien chenal de la Somme jusqu'à la construction de la digue submersible. On remonte ensuite vers une surface sub-horizontale où les banquettes à *Pygospio elegans* ont favorisé l'implantation du néo-

Excursion de bio-sédimentologie sur le littoral picard

schorre. Le bas d'estran est nettement appauvri, dû au déferlement des vagues même par temps plutôt calme.

Le haut d'estran se caractérise par une très faible richesse spécifique ; seule *Hydrobia ulvae* et *Scrobicularia plana* accompagnent en permanence *Nereis diversicolor* (jusqu'à près de 5 000 ind.m⁻²). En descendant, on trouve *Mya arenaria* et *Macoma balthica*. D'une façon saisonnière, se développe *Capitella capitata* (700 ind.m⁻²). Les banquettes à *Pygospio elegans* continues couvrent des surfaces considérables. Le piégeage des sédiments par le végétal *Spartina sp.* exerce un effet synergique sur le colmatage. En descendant l'estran, jusqu'au chenal, on traverse des bancs de coques *Cerastoderma edule* en installation et *Macoma balthica*. Plus bas, c'est le domaine des petits crustacés du genre *Bathyporeia*.

Restauration écologique

L'estuaire a vu son domaine rétrécir aménagement après aménagement. Aujourd'hui, on parle de plus en plus de **ré-estuarisation** des domaines soustraits au complexe estuarien (DUCROTOY, 2010). Les mentalités changent et ce qui semblait utopique il y a seulement quelques années est maintenant digne de considération par les aménageurs. Le rétablissement d'un volume oscillant suffisant permettrait en effet de rétablir le prisme sédimentaire à un niveau moins élevé. Cela pourrait se faire par la remise en eau de terrains conquis sur le domaine maritime et la réhabilitation de cours d'eau d'origine continentale comme cela a été proposé pour le territoire de la **ferme de la Caroline** situé au sud-ouest du Hourdel.

TRAVAUX DIRIGES

Donnez votre définition de la restauration écologique :

Quelles sont les autres stratégies possibles pour revitaliser un milieu naturel ?

7^{ème} arrêt : la digue du chemin de fer et le haut estuaire

Un estuaire profondément marqué par les aménagements

Historique des aménagements

Il existe des cartographies relativement fiables qui remontent au XVII^{ème} siècle (carte de CASSINI) ainsi que des écrits qui remontent au XVI^{ème} siècle où il est question d'ensablement et de diminution du tirant d'eau des bateaux qui remontaient alors jusqu'à Abbeville. Les aménagements qui marquèrent le plus profondément la morphologie de l'estuaire et la circulation des eaux ont été réalisés sur une courte période au cours des XIX^{ème} et XX^{ème} siècles. **Les ouvrages qui ont le plus artificialisé la baie** comprennent :



- le canal maritime d'Abbeville construit de 1803 à 1827, que nous venons de franchir par le pont mobile ;
- la digue du chemin de fer Noyelles - Saint-Valery construite en lieu et place d'une estacade en bois en 1911 (Figure 12), ensevelie sous les remblais.

Figure 12 : L'estacade au début du XX^{ème} siècle

Au sud-est de l'estuaire, l'ancienne estacade qui supportait le chemin de fer à voie métrique Noyelles / Saint-Valery a, en effet, été enfouie sous le ballast et constitue une digue depuis 1911. Depuis cette époque, l'estuaire a perdu une grande partie de sa superficie inondable. Au nord, c'est la route panoramique Noyelles- Le Crotoy qui limite la baie depuis 1969.

TRAVAUX DIRIGES

Tentez d'estimer la proportion des surfaces intertidales perdues après la construction du canal maritime, de la digue du chemin de fer, puis de la route panoramique :

8^{ème} arrêt : le Bassin de Chasse du Crotoy et le port du Crotoy

Un estuaire profondément marqué par les aménagements (2)

Le bassin de chasse du Crotoy (Figure 13) fut mis en fonction en 1865. Il s'agissait alors de compenser le dommage subi par la ville du Crotoy, alors que la Somme venait de lui être ravie au profit de Saint-Valery. D'une superficie de 62 ha, il est sensé maintenir un chenal d'accès entre le port et la mer. Cependant, il fonctionne comme un piège à sédiment et doit être curé à grands frais périodiquement, la dernière fois dans les années 1990. La fois précédente, les rejets de dragage avaient été effectués en amont du bassin et avaient contribué à un exhaussement des fonds (le colmatage du trou de Morlaix), puis à une progradation des mollières.



Figure 13 : Vues du bassin de chasse du Crotoy

Les sédiments

La zone d'exploitation des coques du Crotoy correspond à la **sous-unité littorale abritée de la Bassée**, bien que marginale par rapport à la sous-unité estuarienne de la Voie de Rue. En haut d'estran, on remarque une bande de 40 m de large environ, élevée et abrupte, de sables secs colonisés par les végétaux, qui court le long de la promenade. Ensuite s'étend la slikke sur environ 1200 à 1500 m. La pente faible progresse régulièrement et donne l'impression d'une surface horizontale. En bas d'estran, on descend brutalement sur la zone des mégarides ou dunes hydrauliques. Ces buttes successives plongent finalement dans le chenal. On note une élévation progressive de la salinité de l'eau interstitielle de la slikke, sur le premier km, jusqu'à 20 ‰. Dans la zone des mégarides, la circulation de l'eau ne permet pas la formation d'un horizon asphyxique excepté entre les dunes où se forment des lentilles de réduction. Le fond du chenal réunit les conditions de l'anaérobie et de la sulfite-réduction. Tout au long de la radiale, les taux d'humidité (24 heures à 120°C) varient de 13 à 19 ‰. En ce qui concerne la granulométrie, on traverse les faciès suivant du haut de la slikke vers le chenal :

- sablons du type sédimentaire SL 1e,
- sables du type VL 2a,
- sables du type SL 2e,
- sables du type SL 1d, où la proportion de particules fines atteint 2 ‰,
- sables de type SL 1c à SL 1d.

Excursion de bio-sédimentologie sur le littoral picard

Les classes sédimentaires utilisées apparaissent dans DUPONT & SYLVAND (1991) et s'appuient sur la classification de LARSONNEUR (1977).

Le benthos et son exploitation

La haute slikke, suivant certaines conditions, peut être constituée de banquettes à *Pygospio elegans*. Ces banquettes exhaussées apparaissent et disparaissent sur un rythme pluri-annuel. Elles sont dues à l'abondance du ver (jusqu'à 75 000 ind.m⁻²) dont les tubes muqueux colmatent le sédiment. Dans cette zone de l'estuaire, les banquettes sont discontinues et instables. Le polychète *Nereis diversicolor* peut atteindre près de 2 000 ind.m⁻² et le petit gastéropode *Hydrobia ulvae* 90 000 ind.m⁻². *Macoma balthica* et *Corophium volutator* accompagnent ces espèces. On notera la présence d'*Heteromastus filiformis* et *Capitella capitata*, en liaison avec des teneurs élevées en fines et en matière organique du sédiment. Les sables colmatés abritaient de fortes densités de *Cerastoderma edule*, maintenant en forte régression. Dans les sables instables des mégarides, les crustacés *Bathyporeia pilosa* et *B. Sarsi* constituent des populations importantes (jusqu'à 7 500 ind.m⁻²).

La pêche à pied professionnelle est essentiellement orientée vers le ramassage des coques (*Cerastoderma edule*), représentée par la corporation des « hénoniers » du Crotoy. C'est une activité traditionnelle ancienne, accompagnée par la pêche au haveneau des crevettes grises (*Crangon vulgaris*) et la pose de lignes à hameçons et trémails sur la plage.

La cueillette des passe-pierres (*Salicornia*) donne présentement lieu à des opérations de stimulation de leur croissance, reposant sur la destruction de la spartine (*Spartina sp.*). Ces activités traditionnelles attirent un tourisme qui recherche une certaine authenticité.

TRAVAUX DIRIGES

Observez puis commentez la photo aérienne (Figure 13) et aidez-vous de vos observations de terrain :

9^{ème} arrêt : l'estuaire de la Maye

Un estuaire dans un estuaire – Le macrozoobenthos

Un milieu intertidal par excellence

La baie de Somme est entièrement intertidale et depuis le parking on en découvre l'immensité. L'hydrodynamisme majeur est d'origine marine. Les **courants de marée** (bi-quotidiennes) sont asymétriques, le flux durant 2 heures et le jusant 4 heures qui peut être ralenti ou accéléré par le vent. Les houles sont majoritairement de secteur sud-ouest. La dynamique éolienne entraîne un **fetch maximum** (plus grande course marine) de secteur ouest-sud-ouest.

Le macrozoobenthos intertidal

Pour l'écologiste, le choix du groupe écologique est capital. Il doit permettre de sérier les problèmes et de se concentrer sur les processus. En 1981, la première phase des études qui démarraient alors en baie de Somme fut de poser les bases d'un suivi à long-terme reposant sur l'écologie du **macrozoobenthos** (de taille supérieure à 1 mm) **intertidal** (vivant dans la zone de balancement des marées).

Le choix du macrozoobenthos intertidal est motivé par sa faible mobilité dans le substrat, ce qui en fait un excellent **intégrateur**, tant spatial que temporel, des conditions environnementales. Il est indissociable de son environnement immédiat, le sédiment ou l'estran rocheux et traduit, au travers de sa dynamique l'effet des impacts des activités humaines. Benthos et substratum sont indissociables comme il sera démontré dans la partie consacrée à la méthode bio-géomorphologique.

Le macrozoobenthos intertidal est par ailleurs un élément-clé qui révèle la condition générale de l'ensemble d'un écosystème (et donc la qualité de l'eau) à tout niveau de fonctionnement : il est dépendant du résultat de la **production** primaire (tripton, plancton et microphytobenthos) en amont et il répercute sa productivité en aval sur les maillons suivants de la production secondaire, appartenant lui-même aux niveaux inférieurs de cette production. Les caractéristiques biologiques de la baie de Somme ont été décrites de façon exhaustive dans plusieurs publications ; on pourra se référer aux travaux de DUCROTOY (1998).

Au niveau de l'espèce, l'approche synécologique repose sur la sélection "objective" d'**espèces sensibles mais résilientes** qui peuvent servir de signal en réponse à certains facteurs de l'environnement et en particulier la pollution. En milieu estuarien, la principale espèce-cible fut **la coque *Cerastoderma edule***, cette approche ayant permis de complexifier et de chercher des interrelations. Les herbivores n'utilisent que 6% de la production totale, une partie importante étant exportée sous forme de **tripton**.

Les plantes du schorre

Les plantes du schorre, en tant que producteurs primaires (notamment sous forme de tripton ou détritiques), remplissent un rôle essentiel dans le **fonctionnement des écosystèmes intertidaux**. Elles sont sous l'influence directe des facteurs environnementaux naturels mais répondent aussi directement aux impacts humains.

Excursion de bio-sédimentologie sur le littoral picard

Au travers de l'étude de la diversité, de l'abondance et de la productivité des macrophytes en relation avec ces facteurs, il est possible d'évaluer l'état des communautés et de prévoir l'effet possible des perturbations (PAINE et LEVIN, 1981; RAUSS, 2001).

Les invertébrés de ces zones halophiles présentent une biodiversité intéressante mais peu élevée. Les taxons recensés proviennent en majorité du domaine terrestre (91 espèces sur les 96 recensées). Une grande partie appartient aux Arthropodes avec des acariens et des collemboles principalement. Le pacage des moutons semble améliorer la richesse spécifique relativement basse, par enrichissement en matière organique.

La méthode bio-géomorphologique

Les principes de la **méthode bio-sédimentologique** ont été synthétisés en 1989 (DUCROTOY *et al.*, 1989).

L'adaptation de la méthode bio-sédimentologique à d'autres milieux que les estuaires, tels que le littoral rocheux ou les plages de sable, a permis d'élargir et de généraliser la pratique de terrain et de laboratoire. C'est l'étude des interactions entre le bios et les processus physiques (facteurs hydrologiques et courantologiques, érosion, accrétion...) qui en constituent le moteur.

Le suivi à long-terme des communautés benthiques

Les **unités géomorphologiques** sont compilées dans une zonéographie où figurent les **faciès bio-sédimentaires** (ou les types de **formations rocheuses**, le cas échéant), organisés en séquences.

L'**échantillonnage du benthos** sur le terrain repose sur l'utilisation de **carottiers**, prélevés le long de **radiales** sélectionnées par rapport à la zonéographie et à l'organisation en séquences des faciès sédimentaires ou rocheux. Selon les conditions locales, un nombre variable de « carottes » (ou de quadrats, le cas échéant) peut être échantillonné à chaque niveau de la radiale, comme cela est pratiqué pour les écosystèmes terrestres. En association, un tamis de maille carrée de 1 mm est en général utilisé, sauf quand l'échantillonnage est stratifié et concerne des animaux de grande ou de petite taille. Le sujet de l'**aire minimale** est régulièrement abordé lorsque l'on veut poser le problème de l'échantillonnage du benthos. Cependant, la citation de FRONTIER (1986) résume fort bien la démarche tout en donnant une définition pleine d'humour mais très juste: c'est "l'effort maximal consenti par le chercheur". Et c'est ainsi que nous l'avons vécu sur le terrain.

Les bivalves estuariens

Les mollusques bivalves s'avèrent d'excellents **bio-indicateurs** dans le milieu sub-tidal et intertidal et au sein d'études biocénétiques plus larges ont montré tout l'intérêt de mener des recherches sur les différentes **modalités de la reproduction** de ces animaux en relation avec certains facteurs de l'environnement comme la température. Ainsi, le cycle reproducteur et la stratégie démographique peuvent être mis en relation avec les facteurs de l'environnement. Certains auteurs ont utilisé ces animaux comme indicateurs de pollution et ont tenté, avec succès d'en tirer des conclusions quant à l'**état de l'environnement**, la croissance ayant servi de témoin lors de transplantations dans un estuaire pollué. Les techniques sélectionnées pour détailler la dynamique des populations endémiques ont utilisé l'interprétation des **stries**

Excursion de bio-sédimentologie sur le littoral picard

d'accroissement de la coquille, la croissance individuelle des animaux en vue d'en calculer la biomasse et la production, l'évolution de la **condition physiologique** des animaux et l'état de l'appareil reproducteur ainsi que l'évaluation des réserves en carbohydrates, en lipides et protéines. Grace aux travaux de l'**IFREMER** (voir LEMOINE *et al.*, 1987, pour la méthodologie), l'évaluation régulière de la ressource en coques a abouti à une **exploitation raisonnée** des ressources naturelles de l'estuaire de la Somme.

TRAVAUX DIRIGES

Rappelez ce qu'est un bio-indicateur :

Notez vos observations du benthos :

EN MARGE DE L'EXCURSION : Approches théorique et pratique

UNE APPROCHE EXPERIMENTALE POUR ÉCHANTILLONNER EN RELATION AVEC LES MÉCANISMES POTENTIELS

L'approche écosystémique

L'approche écosystémique prend en compte les mécanismes de renouvellement des populations, les interrelations entre individus et les causes qui poussent les écosystèmes à évoluer. L'écosystème est alors considéré comme un outil pour comprendre les causes des changements qui y prennent place. Afin de tenter une première synthèse, il faut considérer les facteurs physico-chimiques, leurs grandes tendances évolutives et comment ils agissent au niveau des écosystèmes.

Evolution géomorphologique à long, moyen et court terme des estuaires du Nord-Ouest de la France

La structuration spatiale des estuaires macro- et mégatidaux du Nord-Ouest de la France est fondamentale car elle conditionne la distribution et la dynamique des populations benthiques.

Sur le long terme, il se pourrait qu'une transgression additionnelle soit provoquée par l'**effet de serre de niveau planétaire global** et par un **phénomène de "graben"** régional qui provoque un phénomène d'isostasie en Picardie. Le bloc sur lequel reposent les estuaires picards (dont la baie de Somme) a tendance à s'enfoncer alors que le Pays de Caux et le Boulonnais ont une légère tendance à s'élever. Les estuaires picards voient ainsi leurs caractéristiques d'estuaires tidaux magnifiées, avec des domaines externes et internes à salinité élevée. Cela les différencie d'une embouchure telle que l'estuaire de la Seine où l'on ne peut différencier les deux domaines et où la tenue du plein entraîne une dessalure marquée. En baie des Veys où les débits des rivières sont faibles, on a des caractéristiques intermédiaires.

Actuellement, il semblerait que la puissance du courant de marée induit se renforce, favorisant l'aspiration dynamique. On assiste ainsi à une **continentalisation des fonds d'estuaires en synchronisme avec une pénétration marine**, le tout sous l'influence d'apports massifs de sables marins d'origine lithoclastique. Cela provoque un télescopage déjà décrit par DUPONT(1981) en baie de Somme. La fraction grossière est lithoclastique alors que la fraction pélitique est caractérisée par un fort enrichissement en carbonates (de 40 à 60 %). Les gradients d'affinement au fur et à mesure où l'on remonte en baie se juxtaposent d'ailleurs au gradient d'enrichissement en carbonates.

Deux tendances évolutives se produisent (Figure 14) :

Excursion de bio-sédimentologie sur le littoral picard

- un **envasement des zones internes** qui s'accompagne d'une progression des phanérogames maritimes. Dans le secteur nord, devant le Crotoy, on note un envasement contemporain à dominance carbonatée, ayant pour origine (au moins pour partie) un apport marin provenant du démantèlement des falaises crayeuses du Pays de Caux et de la côte picarde. Dans le secteur sud, la sédimentation est accélérée par la construction de la digue submersible de 1965.
- Le **mouvement de bancs sablonneux** qui recouvrent les faciès préexistants dans le secteur nord. Composés essentiellement de sables propres, ces bancs sont très mobiles. Ils résultent, ainsi que leurs déplacements, des actions éolienne et hydraulique (houle et marée) combinées.

Evolution des faciès bio-sédimentaires

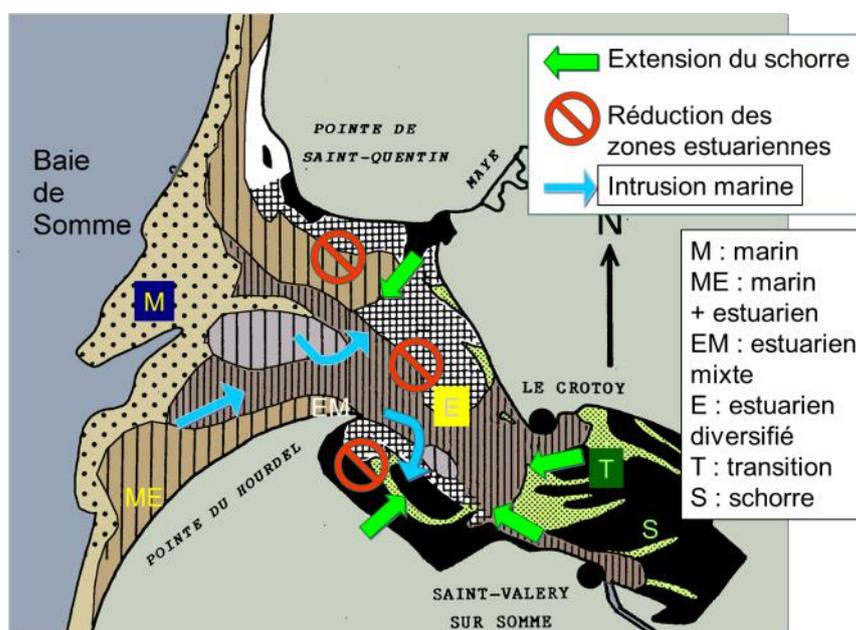


Figure 14 : Prise en tenaille des bio-faciès estuariens depuis 1981

Au travers des études biocénétiques, il a pu être montré que les milieux estuariens étudiés dans le nord-ouest de la France subissent **une intrusion marine combinée à une expansion du schorre et un envasement des niveaux marégraphiques supérieurs** qui prennent en tenaille la *Macoma* communauté. En baie de Somme, le gradient d'affinement du sédiment dans le secteur nord, ainsi que le gradient en carbonates, évoluent rapidement dans le sens d'un envasement des zones internes et un ensablement du centre de la baie. Ces perturbations permettent d'expliquer en partie la crise de production de coques en baie de Somme, la reproduction quasi continue certaines années pouvant traduire une difficulté de l'espèce.

On peut conclure que le gradient d'affinement du sédiment dans le secteur nord, ainsi que le gradient en carbonates, évoluent rapidement dans le sens d'un envasement des zones internes et un ensablement du centre de la baie avec des mouvements et des accumulations imprévisibles de bancs de sables et sablons.

Interprétation des résultats

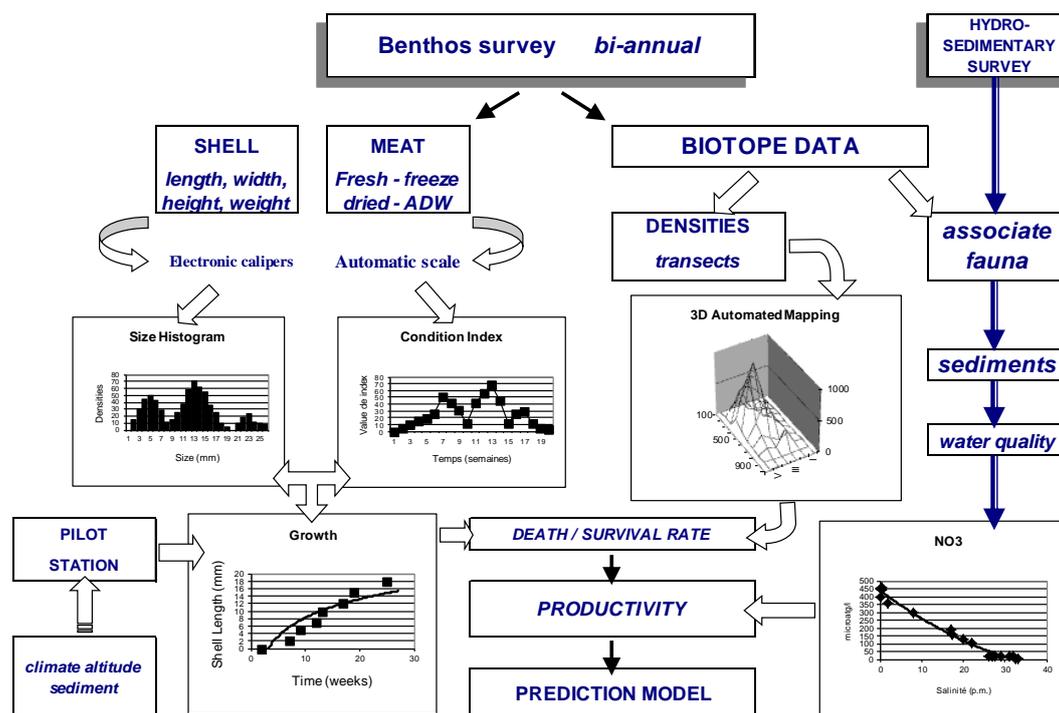


Figure 15 : Méthodologie pour l'étude du fonctionnement bio-sédimentologique estuarien

Fonctionnement estuarien

D'une façon générale, ces études (Figure 15) montrent l'importance de la remise en suspension des particules organiques et minérales du fond par le flot. Il s'agit de très nombreuses diatomées centriques, de particules minérales parfois fines ou grossières, jusqu'à 500 μm , et de matières organiques diverses. Un **front turbide organique** est inféodé aux facteurs courantologiques et se montre porteur de germes pathogènes, principalement vers le nord-est.

Les **apports de nitrates** sont élevés dans l'estuaire picard avec plus de 400 micromoles $\text{NO}_3 \cdot \text{l}^{-1}$. Les valeurs de NO_2 et NH_4 sont faibles en comparaison. Cette disproportion suppose une forte consommation des substances azotées par le phytoplancton, démontrée par la non-conservativité des nitrates en baie. Les apports de phosphates sont relativement élevés, avec 11,7 micromoles $\text{PO}_4 \cdot \text{l}^{-1}$ dans le chenal de la Somme. le rôle des **phosphates** dans les "marées vertes" observées en baie de Somme est limitant mais ne doit pas être surestimé par rapport à celui des nitrates. La libération de l'azote permet des accroissements spectaculaires de la production primaire par une accélération de la photosynthèse (LOQUET, 2001). Le suivi régulier réalisé par l'IFREMER dans les années 90 a permis de mettre en évidence les phénomènes suivants :

- floraisons de *Phaeocystis pouchettii* en avril-mai et septembre.
- apparition à la mi-juin d'une marée rouge à *Noctiluca scintillans*,
- présence de plancton toxique (*Dynophysis sp.*) en faible quantité à la mi-septembre,

Excursion de bio-sédimentologie sur le littoral picard

L'évolution de la composition chimique des eaux estuariennes de la baie de Somme est peu liée aux **apports telluriques**. La dynamique estuarienne dépend essentiellement de l'état de la marée, de son amplitude et du brassage par la houle. L'estuaire picard possède donc peu de caractéristiques proprement estuariennes et cadre bien avec son appellation de "baie". Peu de variations de la salinité sont observées mais les valeurs élevées en NO_3 restent inféodées aux eaux douces ; les masses d'eau marines du flot repoussent les eaux dessalées chargées en sels nutritifs vers le fond de la baie et le long des chenaux d'inondation.

La phase particulière de la **matière organique** (MES, carbone organique, chlorophylle et phéopigments) est aussi sous la dépendance des apports continentaux mais est réglée par les courants de marée et liée à la présence de fronts.

Dès le départ vers l'aval, se produit une consommation de sels nutritifs par le phytoplancton qui peut produire des floraisons importantes.

La relation entre **l'ammonium et la salinité** (‰) ne montre pas de tendance cohérente d'une campagne à l'autre. Il faut donc interpréter ces évolutions comme dépendant d'une production *in situ* d'ammonium, en relation avec le métabolisme du benthos en place.

En ce qui concerne la **chlorophylle**, on remarque un pic probablement en relation avec des apports continentaux, rendant la courbe de régression difficilement interprétable. Une production semble prendre place en estuaire, correspondant sûrement à un bloom phytoplanctonique local. L'évolution de la silice montre aussi une possible consommation en estuaire en liaison avec la production primaire, en l'occurrence les diatomées. Il existe une faible corrélation entre les teneurs en silice et en chlorophylle qui pourrait correspondre à la production de diatomées estuariennes mise en suspension par le flot. La faible corrélation entre la chlorophylle et les nitrates met en évidence la possibilité d'une consommation locale par le plancton.

Eutrophisation

Des **mortalités importantes de benthos** affectant de grandes surfaces de la baie de Somme ont été décrites. Elles affectent tous les membres du benthos à l'exception de *Nereis diversicolor* et *Hydrobia ulvae* qui résistent mieux aux conditions défavorables.

Il a été montré que ces mortalités coïncident avec :

- des développements importants d'*Ulva lactuca*, ou
- des blooms phytoplanctoniques à *Asterionella glacialis*,
- avec, dans l'un ou l'autre cas, des teneurs élevées en chlorophylle et/ou en phéopigments.

Les **conditions climatiques** prévalant pendant les périodes de mortalité correspondaient, à chaque fois à:

- ◆ des apports élevés de nutriments dus à des débits élevés de la Somme,
- ◆ des masses d'eau estuarienne à temps de résidence élevé qui peuvent réintégrer l'estuaire.
- ◆ des marées de morte-eau,
- ◆ des températures plus élevées que la normale,
- ◆ des vents d'est faibles.

Ainsi, un scénario d'**eutrophisation** peut-il être bâti. Les mortalités d'invertébrés benthiques se produisent dans des zones où des flaques se maintiennent à marée basse, dans des eaux à faible mixage et aboutissant à des conditions anoxiques. Des animaux comme *Cerastoderma edule* montrent alors tous les signes de l'asphyxie, dont témoignent la couleur et l'état dégradé des branchies. Dès 1988, des mesures de respirométrie ont permis la mise au point d'un modèle d'anoxie. Des simulations ont été réalisées par RYBARCZYK *et al.* (1996) afin de mieux rendre compte de la respiration de l'eau, du sédiment et de quatre espèces benthiques à densités élevées : *Hydrobia ulvae*, *Nereis diversicolor*, *Macoma balthica* et *Cerastoderma edule*. Ces auteurs ont montré que seulement deux heures de survie sont envisageables dans les conditions rencontrées en 1989 et 1990. Cette durée est insuffisante pour le benthos localisé dans les zones à rétention d'eau où les mortalités ont été observées. Ainsi, ont pu être mis en évidence **deux types de facteurs** qui contribuent à l'eutrophisation du milieu estuarien :

- facteurs contribuant à la **situation d'anoxie** :
 - température,
 - bathymétrie,
 - marées de morte-eau du matin appauvries par la respiration nocturne du plancton ;
- Facteurs **déclenchant les mortalités** :
 - désaturation en oxygène en dessous de 70%,
 - fortes biomasses d'espèces benthiques, notamment *Cerastoderma edule*,
 - présence de phytoplancton en voie de dégradation en surface.

Il a été démontré, au travers des analyses de la MES, du carbone organique, de la chlorophylle et des phéopigments, que l'importance de **la phase particulière de la matière organique** en estuaire dépend des apports continentaux (schorre, apports telluriques dans une moindre mesure). En outre, les courants de marée et l'existence de fronts pourraient freiner la dilution et la dispersion de certaines de ces substances. L'utilisation d'espèces indicatrices pour évaluer l'ampleur du phénomène sera une méthode-clé pour gérer les écosystèmes soumis à une eutrophisation. RYBARCZYK et collaborateurs (2003) ont utilisé un modèle mathématique pour déterminer ces flux au travers des réseaux trophiques de la baie de Somme. Ils ont confirmé qu'une partie importante de la production est exportée et recyclée en tant que détritus (tripton). L'écosystème fait preuve d'une faible maturité, une grande production d'énergie reposant sur une faible diversité de ressources.

DUCROTOY & IBANEZ (2002) ont synthétisé les connaissances acquises sur les effets des **variations des facteurs du milieu** sur le benthos intertidal de la Baie de Somme. **La pluie**, et les variations de salinité qui en dépendent, a un impact certain sur toutes les espèces, exceptées celles telles que *Mya arenaria* qui s'enfoncent profondément dans le sédiment. **Les teneurs en nitrates et phosphates** se rattachent aux précipitations au travers des fluctuations des débits des cours d'eau, notamment de la Somme. **La matière en suspension** joue aussi un rôle extrêmement important dans la dynamique du benthos. De toute évidence les fluctuations dans les apports de sédiments marins trouvent ici toute leur importance, mais le plancton. le tripton (matière organique en cours de décomposition) et les resuspensions de microphytobenthos ont aussi un effet considérable sur les renouvellements de populations.

Pollution

L'intensité d'une perturbation peut se mesurer au travers de l'estimation de la mortalité infligée à certains organismes par celle-ci. Cependant, une espèce particulière est rarement éliminée complètement d'une localité comme dans le cas d'une pollution sévère. Dans le cas **d'une pollution chronique**, les effets infligés par le rejet d'une substance chimique, par exemple, peuvent affecter tout un écosystème sans qu'il soit possible de quantifier l'impact en fonction de la biomasse qui est perdue. Il est donc difficile de parler de pollution et, souvent, de relier celle-ci à une activité humaine bien précise. Nous avons choisi d'illustrer ce propos par un examen rapide de la situation sur la côte picarde pendant les années 80 - 90.

Les **activités métallurgiques** prédominent dans le Vimeu industriel. Celles-ci ont pour trame essentielle la serrurerie et la robinetterie avec des industries d'accompagnement telles que des fonderies ou des usines de pièces de caoutchouc. Ces industries épurent jusqu'à 80% de l'eau qu'elles utilisent. La pollution organique provient essentiellement de trois importantes sucreries, de laiteries et d'abattoirs qui épurent de 80 à 85% de leurs effluents. Sur l'ensemble de la côte picarde, aucun métal potentiellement toxique n'est présent en quantités dépassant les seuils couramment admis (DUCROTOY et al., 2002). Les teneurs en fer, cuivre, chrome et zinc dans les coquillages sont, en général, plus fortes que celles couramment trouvées ailleurs sur le littoral. On remarque quelques dépassements en ce qui concerne les **pesticides**.

Si les paramètres physico-chimiques sont satisfaisants, il n'en est pas de même des **critères bactériologiques** où la barre des 75% de résultats conformes pour les coliformes fécaux, et streptocoques fécaux, n'était pas atteinte en baie de Somme dans les années 80 - 90.

Dans le chenal de la Somme à Saint-Valery, au cours d'un **cycle de marée**, les **concentrations d'*Escherichia coli*** montrent des niveaux élevés à marée basse, quand l'eau prélevée est en provenance de la Somme, au flot et au jusant. Il semblerait que des masses d'eau polluées, en provenance du panache de l'estuaire, soient ramenées par le flot, puis rejoignent le large au jusant.

POLITIQUES DE L'AMENAGEMENT: du niveau régional à la collaboration internationale

La qualité et l'évolution des milieux estuariens et littoraux de Picardie ont été mesurées grâce à l'adoption d'une **approche multiscalaire** de la distribution des invertébrés et des plantes. Ces divers suivis ont abouti à une compréhension:

- des interrelations entre la géomorphologie (y compris l'exposition...) et les silhouettes des bio-faciès reconnus dans le paysage intertidal,
- des corrélations possibles entre le flux de nutriments, la fréquentation touristique et autres facteurs et la qualité du biotope (DUCROTOY, 2010).

Ce type de suivi fournit les données nécessaires à la **description de l'état de qualité** de tout système littoral. Il permet, en outre, d'évaluer les actions prises ou à prendre afin d'atteindre un objectif de qualité. L'élaboration du plan de suivi et de surveillance est un stade essentiel dans toute activité de gestion du milieu marin. L'instrument cartographique (SIG : Système d'Information Géographique) s'avère un auxiliaire de communication précieux entre le scientifique et l'aménageur. Basé nécessairement sur un travail interdisciplinaire, produisant des données parfois disparates, son utilisation repose de plus en plus sur l'utilisation de systèmes géographiques informatisés (DUCROTOY, 2011). Poursuivis sur le long terme, les programmes de suivi écologique permettent une meilleure compréhension :

- de la qualité des milieux littoraux en relation avec les perturbations anthropiques et la variabilité des systèmes naturels ;
- des relations entre la qualité de l'environnement et la répartition géographique des sources de contaminants en fonction de l'occupation des sols, des sources ponctuelles et diffuses de pollution, de la physiographie et de l'état des réseaux dulçaquicoles ;
- de la rétention à long terme des contaminants en transit du milieu terrestre au milieu marin, de leur transformation et rétention dans les milieux littoraux ;
- des prévisions évolutives établies et revues périodiquement.

La **variabilité des systèmes naturels** limite la puissance prédictive des suivis scientifiques et des intercomparaisons. Il y a donc nécessité de mieux comprendre ce qui apparaît comme une instabilité des écosystèmes.

