

45-493

→ DDC/EL

DIRECTION DES RECHERCHES OCEANIQUES
DEPARTEMENT ENVIRONNEMENT LITTORAL

(diffusion restreinte)
(rapport contractuel)

ESTUAIRE DE LA LOIRE
CONSTRUCTION DE DIGUE ET D'OUVRAGE
DE CALIBRAGE A DONGES-EST
MESURES COMPENSATOIRES

J.F. GUILLAUD (IFREMER Brest)
J. MARCHAND (Université de Nantes)
B. BELLESSORT (SOGREAH Grenoble)

DECEMBRE 1990

DRO/EL 90.26



IFREMER - Centre de BREST
B.P. 70 - 29280 PLOUZANE
Tél. 98.22.40.40 Télax 940 627 F



R713-15 GUI E

IFREMER
Centre de BREST
S.D.P.
B.P. 70
29280 PLOUZANE
Tél : 98.22.40.40
Télex : 940 627

DIRECTION ENVIRONNEMENT
ET RECHERCHES OCEANIQUES

DEPARTEMENT ENVIRONNEMENT LITTORAL

| | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| AUTEUR(S) : J.F. GUILLAUD (IFREMER Brest) J. MARCHAND (Université de Nantes) B. BELLESSORT (SOGREAH Grenoble) | | CODE : N° <u> DRO/EL 90.26 </u> |
| TITRE ESTUAIRE DE LA LOIRE - CONSTRUCTION DE DIGUE ET D'OUVRAGE DE CALIBRAGE A DONGES-EST. MESURES COMPENSATOIRES. | | Date : Décembre 1990 Tirage nb : 15 |
| CONTRAT (intitulé) 90.2.43 5014 N° <u> DRO/EL </u> | PORT AUTONOME DE NANTES ST NAZAIRE | <u>DIFFUSION</u> Libre Restreinte X Confidentielle |

RESUME

- Ce document propose, dans le cadre de l'étude d'impact des aménagements de l'estuaire de la Loire à Donges-Est, des mesures compensatoires pour conserver à l'estuaire sa richesse biologique. -

ABSTRACT

Within the scope of impact study of Loire estuary dyking in Donges-Est, this report proposes compensating measures in order to preserve the biological productivity of the estuary.

Mots-clés : Estuaire de la Loire, endigage, mesures compensatoires.

Key words : Loire estuary, dyking, compensating measures.

Ifremer Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer



CONSTRUCTION DE DIGUE ET D'OUVRAGE DE CALIBRAGE A DONGES-EST

MESURES COMPENSATOIRES

1. RAPPEL DU PROJET D'AMENAGEMENT

1.1. Description du projet

Le projet d'aménagement de Donges-Est et de la Passe des Brillantes comprend (Fig. 1) :

- au sud, devant Paimboeuf, un ouvrage submersible (cote d'arase à + 3 m), long de 600 m, incurvé et destiné à renvoyer dans le chenal le courant de jusant qui le quitte à la hauteur du Carnet,

- au nord, en amont de Donges, et en bordure du chenal, une digue insubmersible (cote d'arase à + 8 m) de 600 m, s'inscrivant dans le tracé de la future digue,

- un remblaiement partiel au Nord de la digue insubmersible, qui permettra l'exécution par voie terrestre de la partie supérieure de cette Digue Nord.

1.2. Conséquences du projet

La mise en place de ces aménagements à plusieurs conséquences que l'on peut résumer ainsi :

- ces ouvrages n'entraînent pas de modification significative de la marée et des hauteurs de pleine-mer et basse-mer dans l'estuaire,

- ils conduisent à une augmentation des vitesses maximales de courant dans le chenal de navigation au niveau de Paimboeuf ; le pic de jusant augmente de 40 % et celui de flot de 20 %. Les vitesses maximales de jusant sont aussi accrues entre le musoir sud de la digue submersible et la rive, devant Paimboeuf (tab. 1).

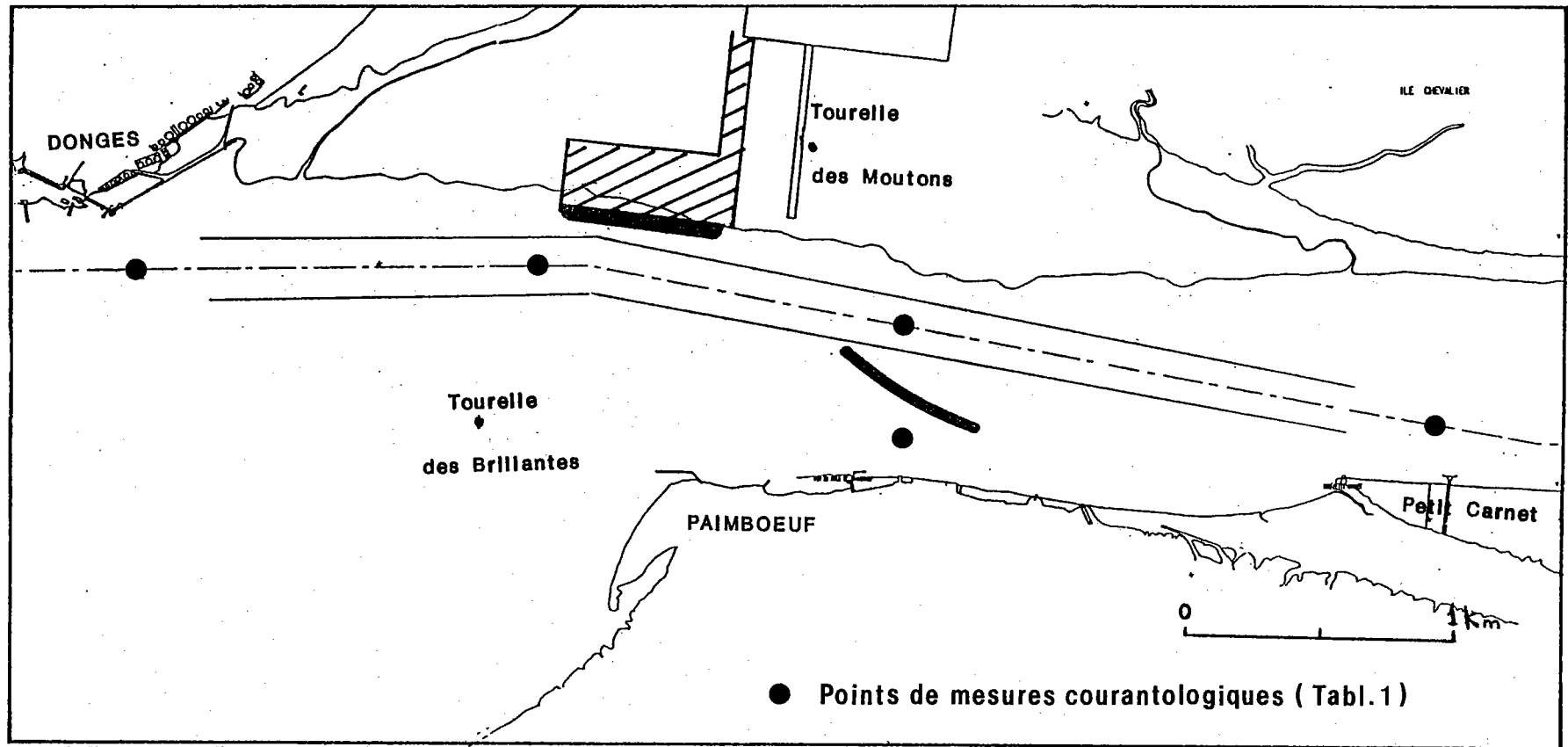


Figure 1 : Aménagements de la passe des Brillantes et de Donges-Est.

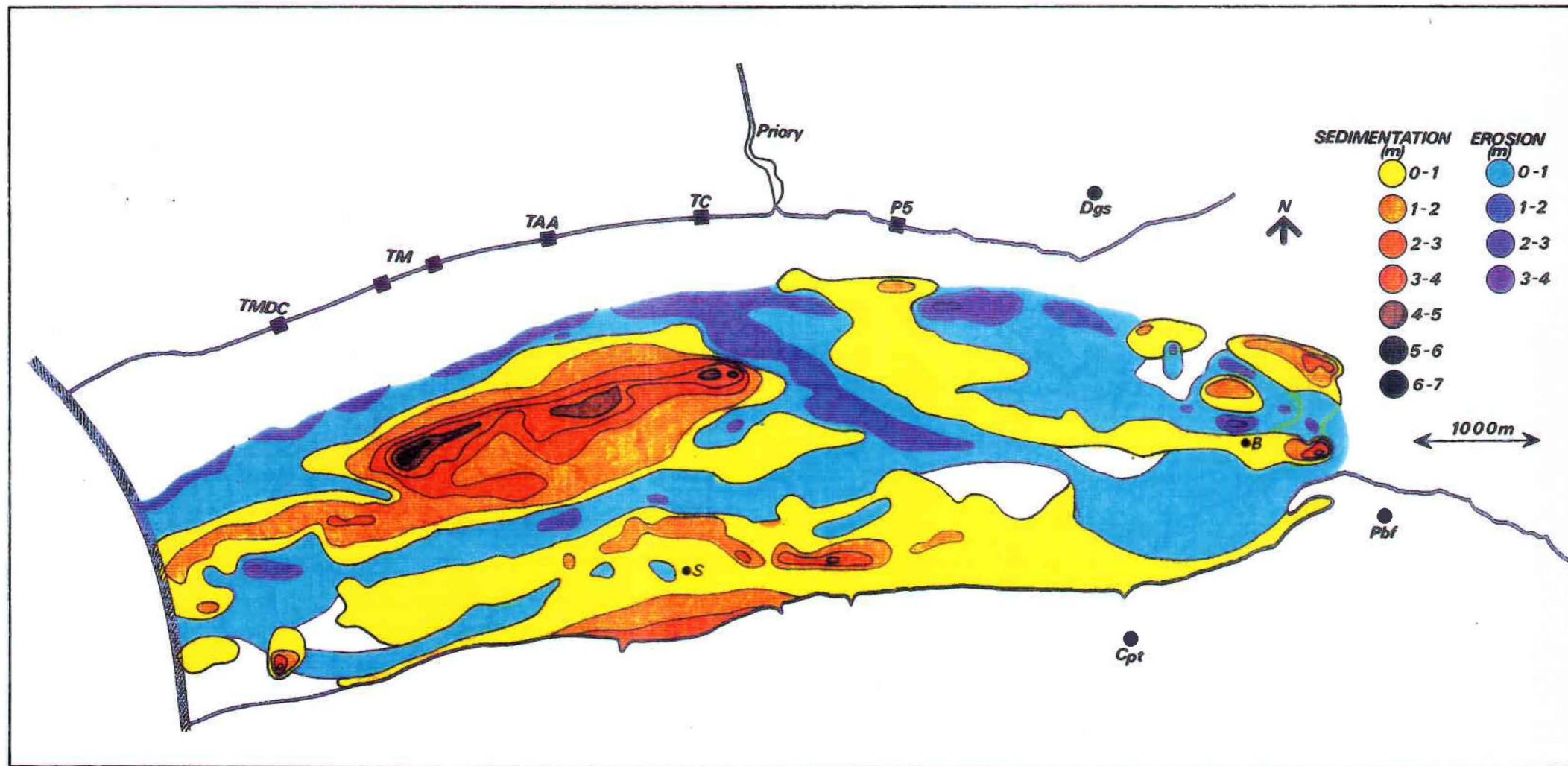


Figure 2 : Evolution des fonds dans l'estuaire, entre 1977 et 1989.

| | | Aval | | Amont | | |
|------------------------|--------------|--------|-------------------------------|------------------------------|----------------------------|--------------|
| P.K. | | 11,5 | 13,2 | 14,6 | | 16,7 |
| Lieu (voir Fig. 1) | | Donges | Tourelle des Brillantes | Ouvrage Paimboeuf | | Petit Carnet |
| | | | | Chenal Nord de navigation | Chenal Sud de Paimboeuf | |
| Vitesse max. flot | Sans ouvrage | 1,8 | 1,75 | 1,1 | 0,8 | 1,65 |
| | Avec ouvrage | 1,7 | 1,75 | 1,35 | 0,8 | 1,55 |
| Vitesse max. Jusant | Sans ouvrage | 2 | 1,6 | 1 | 1 | 2,4 |
| | Avec ouvrage | 2 | 1,8 | 1,4 | 1,8 | 2,4 |

Tableau 1 : Vitesses maximales de courants en m/s (modèle physique d'ensemble)

Après la mise en place des ouvrages, les vitesses maximales de courant dans le chenal de navigation à la hauteur de Paimboeuf, restent inférieures aux vitesses observées dans le chenal, en amont (petit Carnet – pK 16,7) et en aval (Donges – pK 11,5) de Paimboeuf. Les ouvrages de calibrage régularisent les courants, ont un effet local d'accélération mais n'apportent pas de modifications importantes à la répartition des débits entre le chenal nord et le chenal sud. En effet, les vitesses de courant restent identiques avec et sans ouvrage, lorsque l'on se situe de part et d'autre de la zone aménagée.

– La position et l'ampleur du bouchon vaseux, variable en fonction des conditions de débit et de marée, ne sont pas modifiées par les ouvrages projetés. Par ailleurs la réduction des dépôts dans les Brillantes et dans le chenal entre Donges et l'amont de Montoir fait que les turbidités ne sont pas augmentées par rapport à une situation sans ouvrage.

– En raison de la stabilité des conditions de marée, de salinité et de turbidité sur le site, il ne devrait pas y avoir de modification de la qualité physico-chimique et biologique des eaux.

– Le détournement des eaux turbides dans le chenal de navigation, à partir de mi-jusant par la digue submersible de Paimboeuf, fait que les dépôts de sédiments dans le secteur sud-Bilho seront inférieurs à ceux qui se produiraient sans ouvrage. Par contre, il y aura un accroissement des quantités déposées entre St Nazaire et Montoir, dans la zone d'évitage de Montoir.

– La construction de la digue Nord insubmersible de 600 m et le remblaiement en arrière de cette digue entraînent la perte de 20 ha de vasières intertidales présentant un intérêt pour la faune benthique et donc pour les peuplements halieutiques de l'estuaire.

- La mise en place d'une digue complète de 3 km allant de Donges à la ZIP de Lavau (Tourelle des Moutons) conduirait à la perte de 100 ha de vasières, comprises entre les cotes 0 et + 5 m.

- La perte de vasières constitue donc l'impact le plus important de cet aménagement du point de vue biologique.

2. OBJECTIFS DES MESURES COMPENSATOIRES

L'objectif de ces mesures est de compenser, dans une vue à long terme, la perte de vasières au nord de la digue insubmersible.

Cette suppression de 20 ha de vasières représente une diminution de la production benthique de l'ordre de 1 t/an ; la mise en place d'une digue de Donges à la Tourelle des Moutons entraînerait la perte de 100 ha de vasières, et de 5 t/an de production benthique. Les productions sur la zone comprise entre Donges et l'île Pipy d'une part, et sur l'ensemble de l'estuaire d'autre part avaient été respectivement évaluées, en 1983, à 13 t/an et à 65 t/an.

Pour compenser cette perte, il est proposé d'améliorer la protection et le maintien de l'ensemble du secteur estuarien situé au sud du Banc de Bilho, entre Mindin et Paimboeuf. Il faut rappeler que les zones intertidales de part et d'autre du banc de Bilho (principalement rive Nord) et le long de la rive sud de Mindin à Paimboeuf, ont une production benthique de 52 t/an soit environ 80 % de la production totale de l'estuaire ; les vasières de la rive sud de Mindin à Paimboeuf en assurent à elles seules 57 % alors que Bilho-Nord en fournit 20 %.

Ce secteur estuarien est donc fondamental pour les peuplements benthiques et il est à la base de la richesse écologique de l'estuaire (zone d'alimentation pour les oiseaux et aire de nurseries pour les poissons).

3. EVOLUTION DU SECTEUR SUD-BILHO

3.1. Evolution hydraulique et sédimentaire

Le creusement du chenal de Montoir à - 13,25 m et la mise en place simultanée du dépôt de Bilho de 1979 à 1981 ont entraîné une diminution des vitesses de courant dans le chenal de navigation, du fait de l'augmentation des sections et de la réduction des courants traversiers vers le chenal de Montoir au niveau du banc de Bilho.

A l'inverse, les sections mouillées dans le chenal sud se sont trouvées diminuées et les vitesses de courant ont dû augmenter tant en flot qu'en jusant ; on devait donc s'attendre à un approfondissement du chenal sud. C'est bien ce que montre la comparaison des levés bathymétriques de 1977 à 1989 : approfondissement dans le chenal sud de l'ordre de 0,5 m durant cette période entre le Pont de St Nazaire et l'amont de Sécé. Les berges, elles, sont en sédimentation (de l'ordre de 0,3 m dans les fonds voisins du zéro) (Fig. 2).

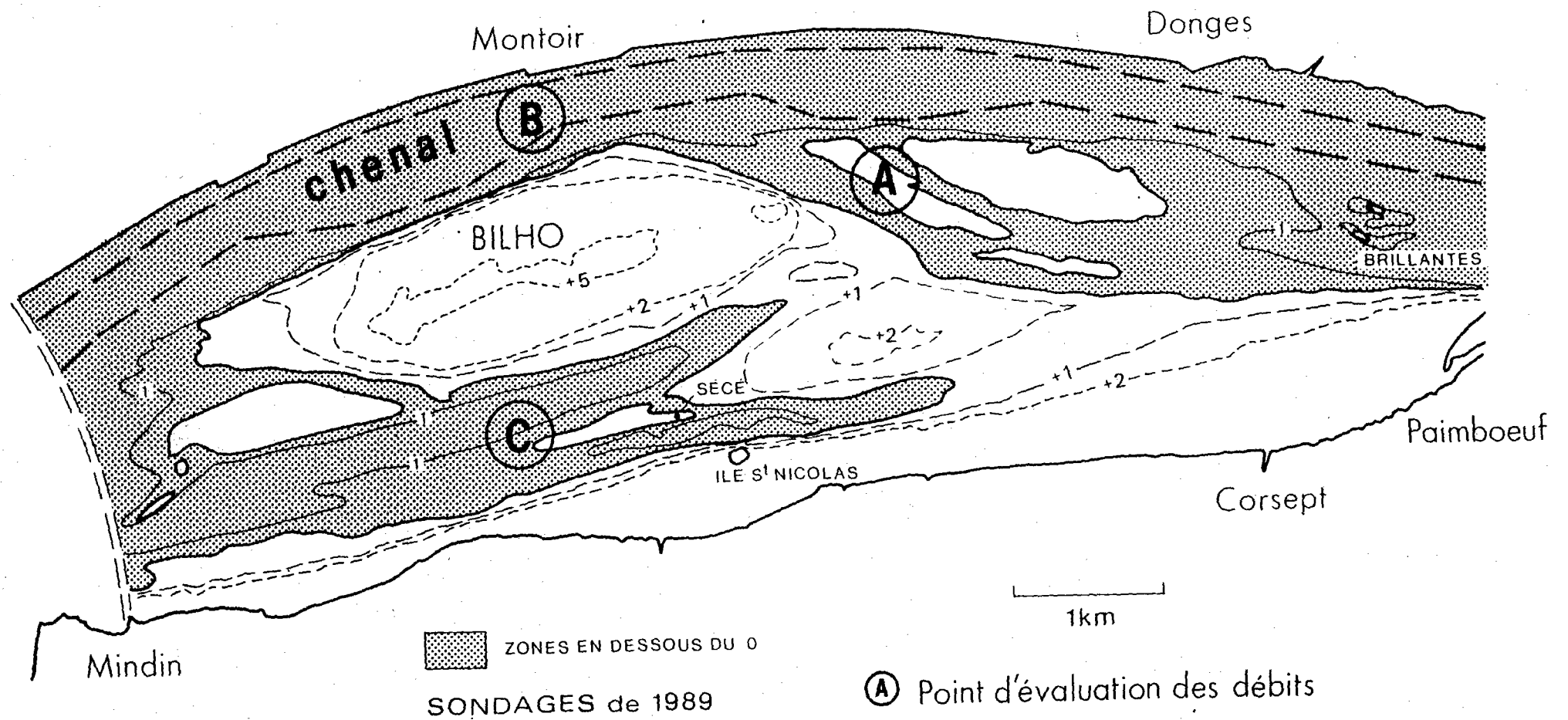


Figure 3 : Etat actuel des fonds dans l'estuaire aval.

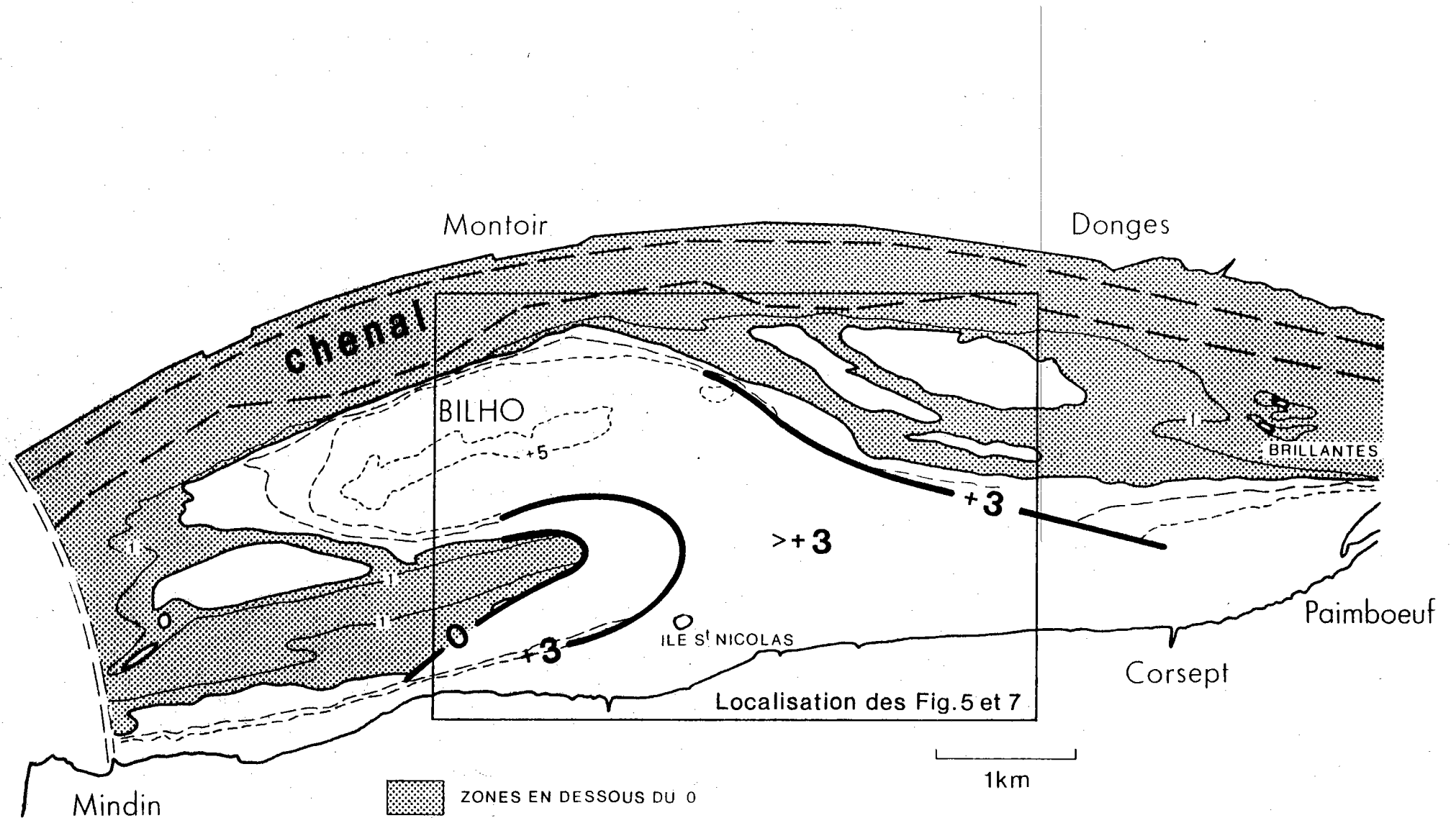


Figure 4 : Evolution des fonds du secteur sud sans aménagement compensatoire.

Par ailleurs le chenal transversal Brillantes – Montoir a pris plus d'individualité en séparant nettement le banc de Bilho du banc des Brillantes ; ce chenal transversal entraîne la perte pour le secteur sud d'une partie du flux de jusant qui y pénètre à l'amont (Fig. 3).

Dans les années futures, et malgré la réduction des apports solides dans la zone sud due à l'implantation d'un ouvrage submersible à Paimboeuf, ce secteur de l'estuaire restera une zone de sédimentation.

De plus, en raison, d'une part de la rencontre au sud de Bilho du courant de flot qui pénètre par le chenal de navigation et de celui qui pénètre plus tardivement par le chenal sud, et d'autre part du fonctionnement en jusant du chenal transversal Brillantes–Montoir, on risque à long terme de voir apparaître un exhaussement des fonds entre le Banc de Bilho et la rive sud.

A l'est et à l'ouest de ces dépôts, se créeront deux sous-ensembles hydrologiquement assez indépendants et cette configuration nuira à la circulation longitudinale des eaux, circulation qui est favorable à l'entretien des fonds sur l'ensemble du secteur sud et à son alimentation en eaux riches en nutriments (Fig. 4).

3.2. Evolution biologique

Dans le cas probable où la végétation coloniserait les dépôts entre Bilho et la rive sud, et permettrait d'atteindre des côtes supérieures à + 3 m, il y aurait perte d'une surface importante de vasières où les peuplements benthiques sont les plus productifs (entre 0 et + 3 m) ; cette perte de production benthique a été évaluée par comparaison entre l'état actuel et l'état futur prévisible du secteur compris entre la rive nord du banc de Bilho et la rive sud de l'estuaire (fig. 5).

Dans chaque cas une évaluation de la production benthique a été faite à partir des données biosédimentaires recueillies en 1983 sur les différents types de substrats occupant ce secteur (Tableau 2).

Cette comparaison montre que l'évolution naturelle des fonds conduirait à une perte de la production benthique annuelle de 50 % (21 t/an à 11 t/an) dans le secteur considéré.

Bien que constituant une aire possible pour le développement de la végétation et le repos des oiseaux à marée haute, cette exhaussement des fonds à long terme entrainerait une perte importante des surfaces jouant un rôle de nurserie pour les poissons et d'alimentation pour les oiseaux, grâce à la richesse de leurs peuplements benthiques.

4. MESURE COMPENSATOIRE PROPOSEE

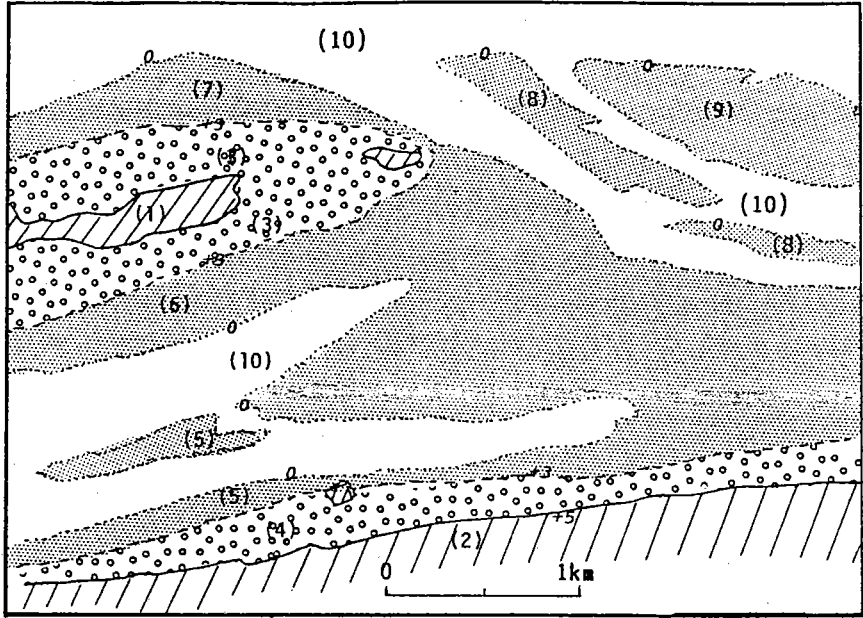
Le but de la mesure compensatoire proposée est de limiter cette évolution à long terme des fonds dans le secteur sud, en favorisant la circulation longitudinale des eaux et en diminuant les dépôts de sédiments.

| Niveau | Cote | Lieu | Biomasse g/m ² | Production kg/ha/an | ETAT 1989 | | | ETAT FUTUR SANS AMENAGEMENT | | |
|------------|-------------|----------------------|------------------------------|------------------------|---------------|---------------|--------------------|-----------------------------|---------------|--------------------|
| | | | | | Surface ha | Biomasse t | Production t/an | Surface ha | Biomasse t | Production t/an |
| Terrestre | > + 5 m | Bilho (1) | 0 | 0 | 15 | 0 | 0 | 14 | 0 | 0 |
| | | Imperlay (2) | 0 | 0 | 167 | 0 | 0 | 218 | 0 | 0 |
| Intertidal | + 3 à + 5 m | Bilho (3) | 0,05 | 0,01 | 113 | 0,06 | 0 | 229 | 0,1 | 0 |
| | | Imperlay (4) | 10 | 25 | 76 | 7,6 | 1,9 | 166 | 16,6 | 4,1 |
| | 0 à + 3 m | Imperlay (5) | 22 | 70 | 260 | 57,2 | 18,2 | 80 | 17,6 | 5,6 |
| | | Bilho Sud (6) | 0,8 | 2 | 107 | 0,8 | 0,2 | 54 | 0,4 | 0,1 |
| | | Bilho Nord (7) | 5 | 9 | 44 | 2,2 | 0,4 | 80 | 4 | 0,7 |
| | | Brillantes aval (8) | 8 | 5 | 34 | 2,7 | 0,2 | 34 | 2,7 | 0,2 |
| | | Brillantes amont (9) | 4 | 3 | 57 | 2,3 | 0,2 | 57 | 2,3 | 0,2 |
| Subtidal | < à 0 m | Chenaux (10) | 0 | 0 | 376 | 0 | 0 | 317 | 0 | 0 |
| TOTAL | | | | | 1 249 | 72,9 | 21,1 | 1 249 | 43,7 | 10,9 |

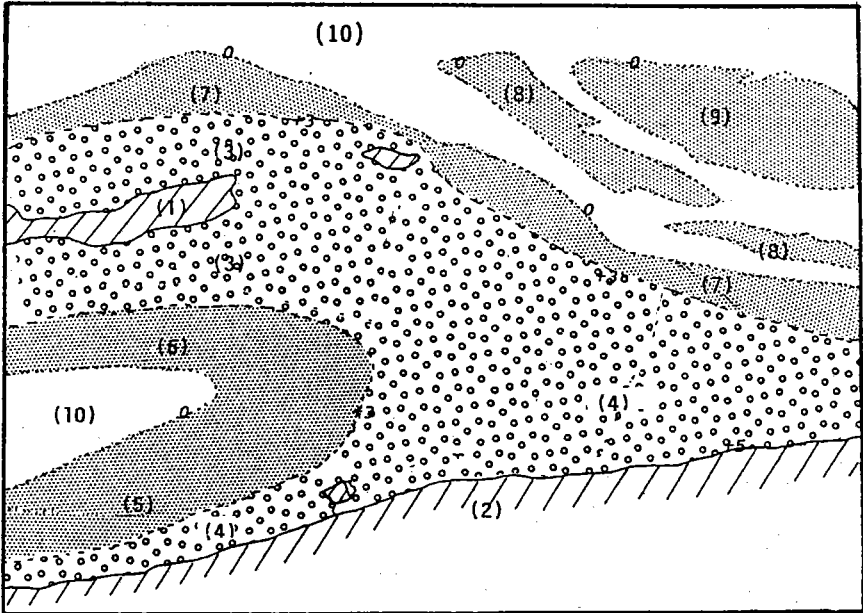
(.) : Références des zones sur les cartes de la figure 5.




Tableau 2 : Evolution des biomasses et des productions benthiques dans le secteur compris entre le banc de Bilho et la rive sud de l'estuaire.

ETAT 1989



ETAT FUTUR
sans aménagements



 TERRESTRE (+5);
  INTERTIDAL SUP. (+5;+3);
  INTERTIDAL INF. (+3;0);
  SUBTIDAL (inf. 0)

() : références des zones dans le tableau 2.

Figure 5 : Evolution, sans aménagement compensatoire, du secteur compris entre le banc de Bilho et la rive sud de l'estuaire.

Pour cela il est proposé de prolonger le banc de Bilho à l'Est sur 1 km, afin de couper le chenal transversal Brillantes-Montoir qui actuellement détourne une partie du flux de jusant dans le chenal de navigation. Ce dépôt insubmersible réorienterait le flux de jusant vers le chenal sud de Sécé-Mindin (Fig. 6).

4.1. Conséquences hydrauliques et sédimentaires

Dans la pratique, le prolongement du banc de Bilho aura pour effet direct :

- de diminuer les sections mouillées là où il se trouve,
- de supprimer les courants traversiers qui empruntent le chenal Brillantes-Montoir.

Le premier effet restera sans doute marginal compte tenu de la section du dépôt par rapport aux sections mouillées en jeu. On peut seulement affirmer qu'il ne pourra qu'augmenter les vitesses de courant de part et d'autre du dépôt.

Le second effet sera plus important car la présence de l'extension du dépôt de Bilho privera le chenal de Montoir d'une partie non négligeable du débit de jusant. A partir des mesures de courant faites en 1990 dans le chenal traversier (point A, Fig. 3), on calcule que le volume d'eau qui est mis en jeu en jusant, pour un coefficient 83, est de l'ordre de 18 Mm³.

En admettant qu'à Montoir, on a, entre le chenal nord (point B, Fig. 3) et le chenal sud (point C Fig. 3), une répartition identique des débits à celle que l'on a au droit de St Nazaire (70 % au nord, 30 % au sud), les débits, pour une vive eau ordinaire, sont, dans la situation actuelle, de :

- 122 Mm³ dans le chenal nord,
- 53 Mm³ dans le chenal sud.

Ainsi donc, en supposant que le prolongement du banc de Bilho agisse sur tout le débit empruntant le chenal traversier, on aurait dans la nouvelle situation :

- 104 Mm³ dans le chenal nord,
- 71 Mm³ dans le chenal sud.

Cet accroissement des débits dans le chenal sud doit entraîner une augmentation des vitesses de courant de 30 à 35 % par rapport à la situation actuelle.

Cet aménagement compensatoire doit donc permettre une diminution de la vitesse de colmatage du secteur sud-Bilho et le rétablissement d'une circulation longitudinale des eaux dans un chenal sud bien individualisé.

Par ailleurs, comme l'ont montré les essais en modèle réduit, on ne doit pas s'attendre à une augmentation de la sédimentation dans la zone amont Brillantes-Paimboeuf (débit peu modifié, turbidité plus faible).

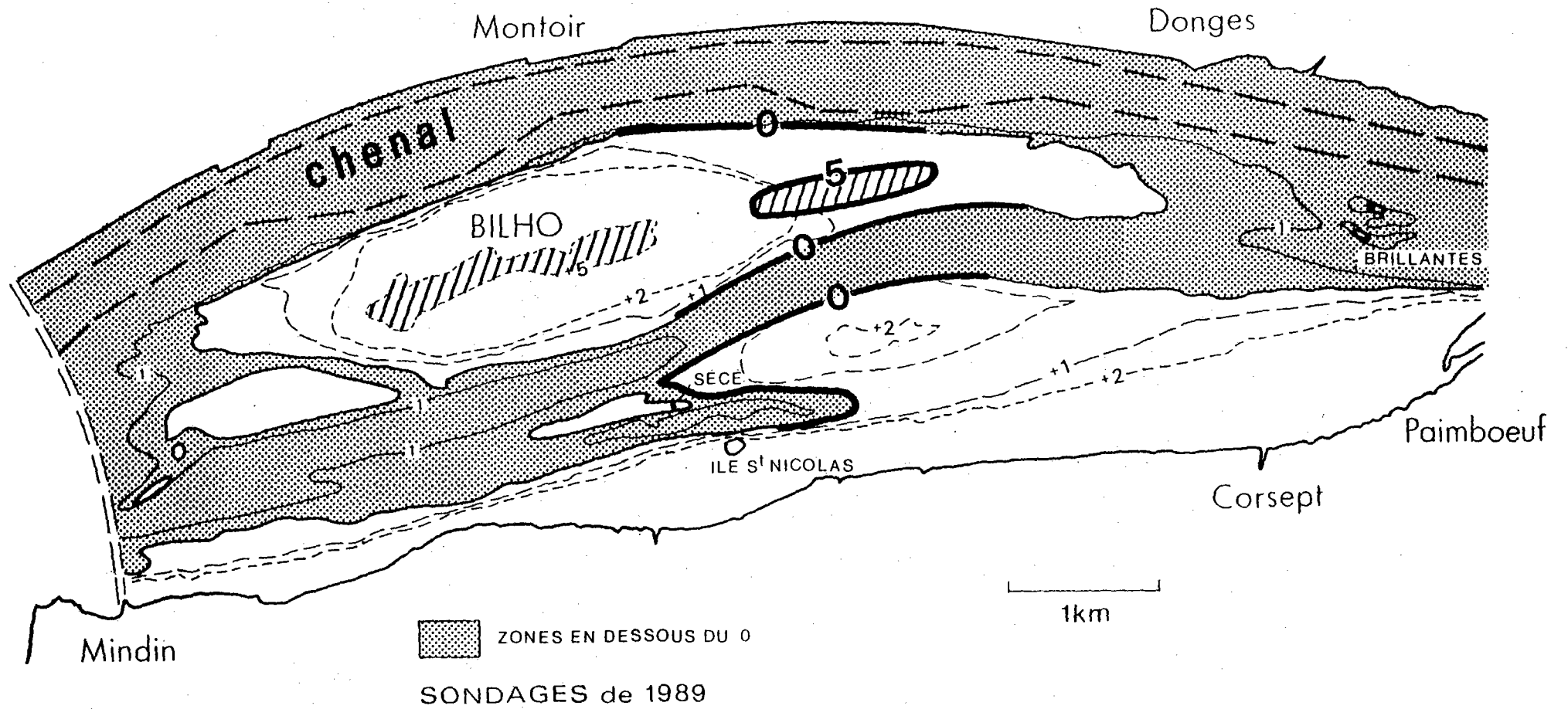


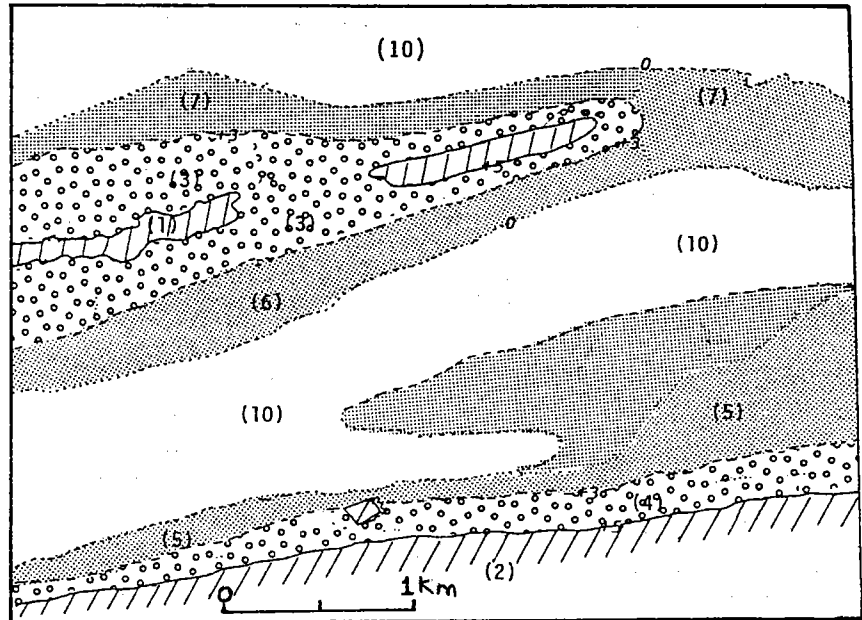
Figure 6 : Evolution du secteur sud avec aménagement compensatoire.





| Niveau | Cote | Lieu | Biomasse g/m ² | Production kg/ha/an | Etat futur avec aménagements | | |
|------------|-------------|----------------------|------------------------------|------------------------|------------------------------|---------------|--------------------|
| | | | | | Surface ha | Biomasse t | Production t/an |
| Terrestre | > + 5 m | Bilho (1) | 0 | 0 | 28 | 0 | 0 |
| | | Imperlay (2) | 0 | 0 | 170 | 0 | 0 |
| Intertidal | + 3 à + 5 m | Bilho (3) | 0,05 | 0,01 | 141 | 0,07 | 0 |
| | | Imperlay (4) | 10 | 25 | 74 | 7,4 | 1,8 |
| | 0 à + 3 m | Imperlay (5) | 22 | 70 | 243 | 53,5 | 17 |
| | | Bilho Sud (6) | 0,8 | 2 | 130 | 1 | 0,3 |
| | | Bilho Nord (7) | 5 | 9 | 73 | 3,6 | 0,7 |
| | | Brillantes aval (8) | 8 | 5 | - | - | - |
| | | Brillantes amont (9) | 4 | 3 | - | - | - |
| Subtidal | < à 0 m | Chenaux (10) | 0 | 0 | 390 | 0 | 0 |
| TOTAL | | | | | 1 249 | 65,6 | 19,8 |

(.) : Références des zones sur la carte de la figure 7.

Tableau 3 : Evolution des biomasses et des productions benthiques dans le secteur compris entre le banc de Bilho et la rive sud de l'estuaire – Etat futur avec aménagement.

ETAT FUTUR
avec aménagements



 TERRESTRE (+5);
  INTERTIDAL SUP. (+5,+3);
  INTERTIDAL INF. (+3;0);
  SUBTIDAL (inf. 0)

() : références des zones dans le tableau 3.

Figure 7 : Evolution, avec aménagements compensatoires, du secteur compris entre le banc de Bilho et la rive sud de l'estuaire.

4.2. Conséquences biologiques

La production des peuplements benthiques entre le banc de Bilho et la rive sud de l'estuaire, a été réévaluée pour cette nouvelle configuration à long terme du secteur sud, dans laquelle le chenal sud se maintiendrait à des cotes inférieures à 0 m, suite à la fermeture, par le prolongement sur 1 km du banc de Bilho, du chenal traversier Brillantes-Montoir (fig. 7).

Cette évaluation, dont les résultats sont rassemblés dans le tableau 3, montre que dans cette configuration de la zone sud, on aurait une production benthique annuelle (20 t/an) équivalente à la production actuelle, et double de celle estimée dans le cas d'un état futur de la zone sud sans aménagement compensatoire.

La prolongation du banc de Bilho sur 1 km à l'est du dépôt actuel, entrainerait donc une amélioration de la circulation des eaux en provenance de l'amont et riches en nutriments ; par ailleurs cette mesure compensatoire permettrait de maintenir la production benthique dans ce secteur estuarien, qui joue un rôle important de nurserie pour les poissons et d'aire d'alimentation pour les oiseaux limicoles.

La partie émergée du nouveau dépôt ainsi créé, serait colonisée par la végétation comme lors de la mise en place du dépôt de Bilho (actuellement plus de 300 espèces de plantes supérieures) ; cette zone aurait pour les oiseaux une fonction d'aire de repos à pleine mer, comme on peut actuellement l'observer sur le banc de Bilho.

4.3. Bilan global de la production benthique

A l'aide des résultats précédents, le bilan global de la production benthique, sur l'ensemble de l'estuaire, a été estimé à court terme (1991) et à moyen terme (2000), en fonction des différentes hypothèses d'aménagement (maintien de la configuration actuelle ; endigage à Donges-Est ; endigage à Donges-Est et prolongement du Banc de Bilho).

| | Production benthique : t/an | | | | | |
|------------------------------------------|-----------------------------|-------------|-------|----------------------|-------------|-------|
| | A court terme (1991) | | | A moyen terme (2000) | | |
| Hypothèses d'aménagement | Amont Donges | Aval Donges | Total | Amont Donges | Aval Donges | Total |
| Aucun Aménagement | 13 | 52 | 65 | 12 | 42 | 54 |
| Endigage Donges Est | 8 | 52 | 60 | 8 | 42 | 50 |
| Endigage Donges-Est + prolongement Bilho | 8 | 52 | 60 | 8 | 51 | 59 |

Tableau 4 : Bilan global de la production benthique – t/an

Le tableau 4 montre que :

- sans aucun aménagement, la production benthique de l'estuaire passe de 65 t/an (court terme) à 54 t/an (moyen terme) ; cette diminution est essentiellement due à l'évolution naturelle du secteur sud (aval Donges : 52 t/an → 42 t/an) et à celle des vasières de Donges (amont Donges : 13 t/an → 12 t/an),

- l'endigage complet de Donges-Est entraîne une perte complémentaire, à moyen terme, de 4 t/an sur les vasières de Donges,

- le prolongement du banc de Bilho permet de maintenir la production benthique en aval de Donges à 51 t/an ; la production totale de l'estuaire s'élève alors à une valeur de 59 t/an, supérieure, à moyen terme, à celle obtenue sans aucun aménagement (54 t/an), et à celle résultant de la seule mise en place de la digue à Donges-est (50 t/an).

5. MODALITES DE REALISATION DU PROLONGEMENT DU BANC DE BILHO

Le prolongement à réaliser représente la mise en place d'un volume de matériaux de l'ordre de 2 à 3 millions de m³ (longueur : 1 000 m, largeur en pied : 400 à 500 m, hauteur : 5 à 6 m).

5.1. Situation hydraulique et fermeture du chenal traversier

5.1.1. Situation hydraulique actuelle

Le courant actuel dans le chenal traversier, situé entre le chenal de navigation et le chenal sud, est lié à l'existence d'un gradient hydraulique entre ces deux derniers chenaux.

Pour un débit d'étiage (102 m³/s) et en vive eau (coef. 93) les vitesses maximales atteintes près du fond sont de 0,5 m/s en flot et 0,6 m/s en jusant ; on peut évaluer les vitesses moyennes à 0,3 m/s en flot et à 0,4 m/s en jusant. Sur la base de ces données, et en admettant une proportionnalité sensiblement linéaire avec le coefficient de marée, on peut dresser le tableau suivant, pour les vitesses de flot ou de jusant :

| COEFFICIENT | VITESSE MAXIMALE (m/s) | VITESSE MOYENNE AU COURS DE LA MAREE (m/s) |
|-------------|---------------------------|-----------------------------------------------------|
| 40 | 0,25 | 0,15 |
| 60 | 0,4 | 0,25 |
| 80 | 0,5 | 0,30 |
| 100 | 0,6 | 0,40 |
| 120 | 0,75 | 0,50 |

5.1.2. Fermeture du chenal traversier

La fermeture du chenal traversier apportera certes des modifications au régime hydraulique de chacun des chenaux (de navigation et sud), mais en première approche, le gradient hydraulique entre les deux sera peu affecté. Cela signifie, qu'au cours de la fermeture, la vitesse moyenne du courant dans le chenal traversier variera peu, hormis des accélérations temporaires liées au rétablissement de l'état d'équilibre après chaque rechargement. Par contre, la section diminuant, le débit décroîtra.

5.2. Fermeture et transport des sédiments

Dès lors que l'on envisage de faire la fermeture du chenal avec des matériaux issus de dragage, il se pose le problème de leur stabilité dans le chenal traversier.

5.2.1. Cas des sables

En première approche, on retiendra que l'on a essentiellement à faire à des actions de courant.

Les critères de début d'entraînement de matériaux sableux sous l'action des courants sont multiples. On retiendra le critère simplifié suivant :

$$\tau_c = 0,8 D$$

$$u_{*c} = 2,8 D^{0,5}$$

$$U_c \approx 25 \text{ à } 30 u_{*c}$$

avec

τ_c : contrainte tangentielle critique sur les fonds (N/m²)

D : Diamètre des grains (mm)

u_{*c} : Vitesse critique de frottement (cm/s)

U_c : Vitesse moyenne critique du courant (cm/s)

Ceci conduit au tableau suivant :

| D (mm) | U_{*c} (cm/s) | U_c (cm/s) |
|--------|-----------------|--------------|
| 0,2 | 1,2 | 30 |
| 0,5 | 2 | 50 |
| 1 | 2,8 | 70 |
| 5 | 6,3 | 160 |

La comparaison de ce tableau avec celui des vitesses dans le chenal traversier montre que :

- . pour des marées de vive-eau, il y aura des transports qui seront significatifs pour les sables de moins de 0,5 mm et qui deviendront très importants pour des sables de moins de 0,2 mm,

- . pour des marées moyennes, les transports ne seront significatifs qu'en dessous 0,2 mm,

- . pour des marées de morte-eau, les transports seront toujours faibles.

Ces données montrent tout l'intérêt qu'il y a à utiliser des sables d'au moins 0,5 mm afin d'éviter une dispersion rapide. Elles montrent aussi que si le remblaiement est fait avec des sables de l'ordre de 0,2 à 0,3 mm, il y aura d'importantes pertes.

Ces évaluations peuvent être dites optimistes car ne prenant en compte que les actions des courants. Si on y ajoute l'action des vagues, l'intensité des transports et des dispersions peut être beaucoup plus importante (par exemple avec un courant de 0,6 à 0,8 m/s, une hauteur d'eau de 2 à 3 m, le débit solide sera 2 à 3 fois plus fort avec des vagues de 0,5 à 1 m selon la formule d'ACKERS-WHITE).

La bonne tenue du banc de Bilho réalisé en 1980 (il y a eu fort peu d'évolutions du banc jusque-là) montre que si le prolongement est réalisé selon les mêmes conditions (avec donc une large prédominance de matériaux sableux), on peut espérer une réalisation ne présentant pas de difficultés notables. Toutefois, lors de la phase finale de fermeture, il y aurait intérêt à la réaliser très rapidement afin de limiter les risques de dispersion par les courants (stockage d'une quantité importante de sable à proximité de la brèche finale permettant un apport massif en un temps très court).

5.2.2. Cas des vases

Si des vases sont utilisées, elles proviendront d'une suceuse et auront donc une teneur en eau très forte. On aura à faire à un liquide de densité 1,15 à 1,20 sans cohésion. Une telle mixture, rejetée dans un courant même faible de 0,2 à 0,3 m/s est immédiatement entraînée et dispersée sans pouvoir donner lieu à un dépôt stable. Il ne peut y avoir dépôts que lors des étales mais ces dépôts sont remis en suspension dès que les vitesses atteignent 0,4 à 0,5 m/s ; en d'autres termes, dès les marées moyennes, il n'est envisageable d'utiliser des vases que si l'on crée une chambre de rejet avec des endiguements dont la cote d'arase atteindrait au moins + 6 à + 6,5 m. Ceci signifie, au total de l'ordre d'au moins 2 000 m de digue ayant 5 à 6 m de haut. Ceci ne paraît pas économiquement envisageable.

De plus, se poseraient les importants problèmes de consolidation de tels dépôts.

Cette solution ne paraît donc pas à retenir.

5.2.3. *Cas des matériaux sablo-vaseux*

Dans ce cas, on peut admettre que :

. la fraction vase (< à 0,063 mm) sera évacuée dans les mêmes conditions qu'évoquées en 5.2.2.,

. la fraction sable aura un comportement tel que celui évoqué en 5.2.1.

5.3. *Mise en oeuvre*

Sur un plan pratique, il pourrait être envisagé d'apporter, de claper et stocker le sable dans une fosse à proximité de la partie terminale amont du banc de Bilho (côté chenal) et ce au fur et à mesure des possibilités liées aux dragages. Les matériaux seraient ensuite repris dans la fosse puis refoulés grâce à une drague stationnaire.

Une durée des travaux de plusieurs années est à prévoir.

Entre chaque campagne de rechargement, il conviendrait de protéger la partie terminale du banc contre les dispersions par un talus en enrochements.

Il peut se poser le problème d'une érosion du banc situé face à la partie terminale du banc de Bilho (rive droite du chenal traversier). Un suivi bathymétrique sera à faire pour en évaluer l'importance et prendre si nécessaire les mesures adéquates (tapis anti-érosion en enrochements).

6. MESURES D'ACCOMPAGNEMENT

6.1. *Relevés bathymétriques*

Il conviendrait de faire durant le chantier des relevés bathymétriques sur la zone des travaux et ensuite de réaliser sur l'ensemble de la zone sud-Bilho, des couvertures bathymétriques annuelles afin de suivre l'évolution des fonds dans ce secteur.

Coût :

6.2. *Cartographie biosédimentaire*

La cartographie biosédimentaire du secteur Mindin-Bilho-Paimboeuf devrait être faite en début d'été, 2 à 3 ans après la fin des travaux (temps nécessaire à la stabilisation des sédiments et donc à la mise en place des communautés benthiques susceptibles de les coloniser). L'interprétation de ce bilan sera à faire en relation avec l'hydrodynamisme du secteur.

Coût : 100 000 F H.T.

6.3. Suivi des peuplements benthiques caractéristiques

Un suivi annuel des peuplements caractéristiques devrait être réalisé afin d'en établir les densités, les biomasses et le niveau de production ; les stations de prélèvements, qui seront suivies selon un rythme trimestriel, seront choisies sur l'estran de l'Imperlay ainsi que sur les rives nord et sud des îles de Bilho en couvrant tout le niveau intertidal. Les résultats pourront ensuite être extrapolés à l'ensemble du secteur en se basant sur la nature sédimentaire et le niveau bathymétrique des différentes zones.

Coût : 200 000 F H.T.

6.4. Bilan du rôle de nourricerie du secteur aval de l'estuaire

Ce bilan, dans le secteur aval de l'estuaire, devrait être réalisé par des séries de chalutages au moyen d'engins de faible maillage d'avril à octobre, à raison d'une ou deux séries mensuelles en morte-eau en fonction du débit fluvial.

Coût : 150 000 F H.T.