



PROTECTION DES LIEUX HABITES CONTRE LES INONDATIONS DE LA RIVIERE SAINTE- SUZANNE ET DU RUISSEAU DU FOUTAC

ETUDE D'IMPACT

NOTE COMPLEMENTAIRE SUR LES DEUX DIGUES EN MER

FEVRIER 2005
N° 4700104

DEFINITIF

SOMMAIRE

1. OBJET DE L'ETUDE.....	1
2. SITUATION DES AMENAGEMENTS.....	2
3. DONNEES DISPONIBLES.....	4
4. JUSTIFICATION TECHNIQUE DE L'UTILITE DES DEUX DIGUES EN MER POUR LA PROTECTION CONTRE LES INONDATIONS	5
4.1. LE LITTORAL DE SAINTE-SUZANNE.....	5
4.2. GÉNÉRALITÉS SUR LE FONCTIONNEMENT SÉDIMENTAIRE DU LITTORAL	5
4.2.1. <i>Principes généraux</i>	5
4.2.2. <i>Mouvements dans le profil et transit littoral</i>	6
4.3. LE RÉGIME SÉDIMENTAIRE DU LITTORAL DE SAINTE-SUZANNE	8
4.4. LE CORDON LITTORAL DE GALETS	9
4.5. LE CORDON LITTORAL DE SAINTE-SUZANNE.....	11
4.5.1. <i>Evolution du cordon de galets en régime courant</i>	11
4.5.2. <i>Evolution du cordon de galets en période de crues</i>	12
4.6. CONSÉQUENCES SUR LES INONDATIONS À L'AMONT	13
4.7. RÔLE DE L'ANCIEN CFR	14
4.8. JUSTIFICATION DE LA SOLUTION RETENUE	14
4.9. INTERVENTION MANUELLE SUR LE CORDON	15
5. IMPACT DU PROJET SUR L'ÉQUILIBRE SÉDIMENTAIRE DU LITTORAL.....	16
5.1. IMPACT GÉNÉRAL D'UN OUVRAGE PERPENDICULAIRE AU LITTORAL	16
5.2. IMPACT DES OUVRAGES PROJETÉS SUR LE TRANSIT LITTORAL.....	17
5.2.1. <i>Les ouvrages préconisés</i>	17
5.2.2. <i>Les impacts des ouvrages sur le cheminement des galets</i>	17
5.3. MESURES D'ACCOMPAGNEMENT – RECOMMANDATIONS.....	19
5.3.1. <i>Période de réalisation de l'aménagement</i>	19
5.3.2. <i>Une fois l'aménagement réalisé</i>	19
5.3.3. <i>Suivi topographique et bathymétriques</i>	19
6. AUTRES IMPACTS PRÉVISIBLES DES DIGUES EN MER	20
6.1. IMPACT SUR LES NIVEAUX À L'ÉTIAGE DE LA RIVIÈRE	20
6.2. IMPACT SUR LA REMONTÉE DE LA HOULE DANS LA RIVIÈRE	21
6.3. IMPACT SUR LA SALINITÉ DES EAUX DE LA RIVIÈRE (MÉANDRE ET CANAL DE DÉRIVATION).....	21
6.3.1. <i>Etat actuel</i>	21
6.3.2. <i>Après réalisation des deux digues en mer</i>	21
6.4. MESURES D'ACCOMPAGNEMENT.....	28

LISTE DES FIGURES

Figure n°1 – Carte de situation.....	3
Figure n°2 – Mesures de débit et de conductivité (4 et 14 février 2005)	24
Figure n°3 – Estimation de la salinité future à l'étiage.....	27

LISTE DES TABLEAUX

Tableau n°1 – Liste des données et études utilisées	4
---	---

1. OBJET DE L'ETUDE

Dans le cadre de l'instruction du dossier réglementaire d'autorisation concernant les aménagements projetés sur la Rivière Sainte-Suzanne et le Ruisseau Foutac, la SEMADER souhaite approfondir certains points pour répondre aux observations des services de l'Etat. En particulier, la SEMADER souhaite apporter des éléments complémentaires pour :

1. Justifier techniquement la nécessité de réaliser les deux digues en mer pour la protection des lieux habités contre les inondations ;
2. Evaluer l'impact du projet sur l'équilibre sédimentaire du littoral ;
3. Evaluer l'impact du projet sur les taux de salinité de la rivière Sainte-Suzanne et du Canal de dérivation.

Le présent rapport d'avancement concerne les deux premiers points. Le dernier point, incomplet aujourd'hui, n'est porté qu'à titre indicatif.

2. SITUATION DES AMENAGEMENTS

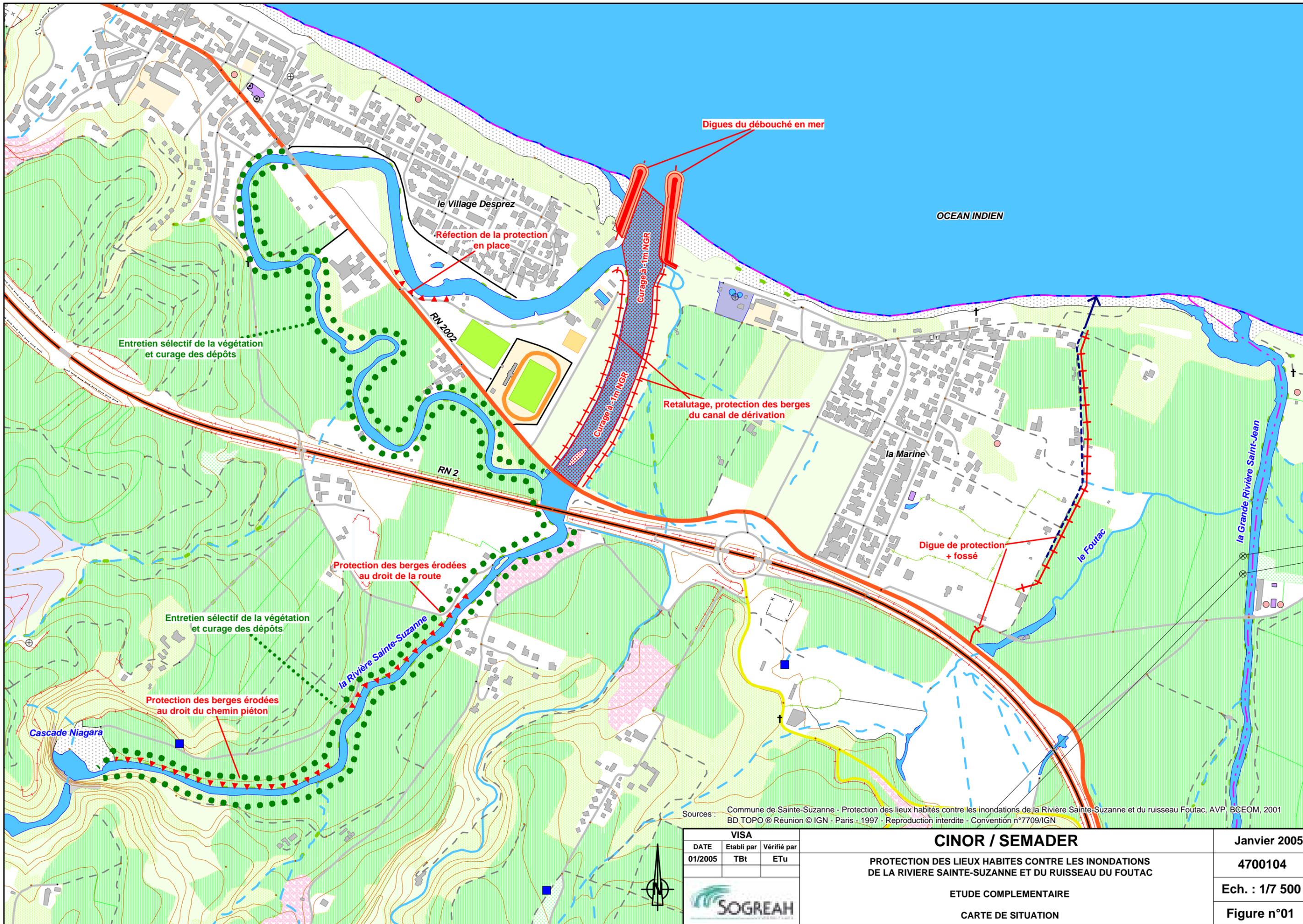
Le projet de protection des lieux habités contre les inondations s'étend, sur la commune de Sainte-Suzanne, sur un secteur délimité par le méandre de la Rivière Sainte-Suzanne, le ruisseau du Foutac, la cascade Niagara en amont et le littoral en aval (*cf. figure n°1, ci-après*).

Ce programme d'aménagements doit permettre de réduire les débordements observés sur les secteurs habités de la commune de Sainte-Suzanne lors des crues de ces cours d'eau et d'assurer l'évacuation pérenne de ces cours d'eau jusqu'à l'océan avec un niveau de protection centennal.

Les opérations projetées consistent :

- ↪ A créer un débouché en mer de la rivière de Sainte-Suzanne et de son canal de dérivation afin d'éviter la formation du cordon littoral de galets et de supprimer l'obstacle créé par les digues de l'ancien pont CFR qui pénalisent actuellement fortement l'évacuation des eaux vers la mer et entraîne l'inondation des terrains riverains ;
- ↪ A réaménager le canal de dérivation en l'approfondissant et en renforçant la protection des berges afin de renforcer la diminution des niveaux d'eau ;
- ↪ A assurer un entretien de la rivière Sainte-Suzanne et du méandre en aval de la cascade Niagara (curage, élagage, protection des berges érodées sur les tronçons vulnérables, réhabilitation d'une protection dégradée) afin d'éviter la formation d'embâcles susceptibles de nuire au bon écoulement des crues.
- ↪ A implanter une digue de protection éloignée en rive gauche du ruisseau du Foutac calée sur le chemin d'exploitation existant et assurant la mise hors d'eau du quartier de la Marine en cas de crue centennale du ruisseau du Foutac (et de la Grande Rivière Saint-Jean).

Ces aménagements projetés sont présentés sur la figure n°1, page suivante.



Sources : Commune de Sainte-Suzanne - Protection des lieux habités contre les inondations de la Rivière Sainte-Suzanne et du ruisseau Foutac, AVP, BCEOM, 2001
 BD TOPO © Réunion © IGN - Paris - 1997 - Reproduction interdite - Convention n°7709/IGN

VISA		
DATE	Etabli par	Vérifié par
01/2005	TBt	ETu



CINOR / SEMADER

**PROTECTION DES LIEUX HABITES CONTRE LES INONDATIONS
 DE LA RIVIERE SAINTE-SUZANNE ET DU RUISSEAU DU FOUTAC**

ETUDE COMPLEMENTAIRE
 CARTE DE SITUATION

Janvier 2005

4700104

Ech. : 1/7 500

Figure n°01

3. DONNEES DISPONIBLES

Le tableau n°1 ci-dessous liste les données et études utilisées pour le présent dossier :

Tableau n°1 – LISTE DES DONNÉES ET ÉTUDES UTILISÉES

Réf.	Intitulé	Auteurs	Maître d'ouvrage	Date
Etudes antérieures				
/1/	Commune de Sainte-Suzanne – Réalisation d'un stade d'eau vive – Etude de définition de la cote d'eau dans le canal de dérivation de la Rivière Sainte-Suzanne	SOGREAH	CINOR / SEMADER	2004
/2/	Protection des lieux habités contre les inondations de la Rivière Sainte-Suzanne et du ruisseau du Foutac – Etude d'impact (n°A99-50/90668Y)	BCEOM	CINOR / SEMADER	2003
/3/	Protection des lieux habités contre les inondations de la Rivière Sainte-Suzanne et du ruisseau du Foutac – Avant-Projet (n°A99-50/90668Y)	BCEOM	CINOR / SEMADER	2001
/4/	La Rivière Sainte-Suzanne et son canal de dérivation – Etude globale – phase 3 – Etude des solutions (n°304108)	SOGREAH	Commune de Sainte-Suzanne	1998
/5/	La Rivière Sainte-Suzanne et son canal de dérivation – Etude globale – phase 1 – Diagnostic hydraulique (n°304108R1)	SOGREAH	Commune de Sainte-Suzanne	1997
/6/	Evolution du trait de côte de la Plaine de la Rivière du Mât de 1950 à 1997	BRGM	Conseil Régional de la Réunion	2001

4. JUSTIFICATION TECHNIQUE DE L'UTILITE DES DEUX DIGUES EN MER POUR LA PROTECTION CONTRE LES INONDATIONS

4.1. LE LITTORAL DE SAINTE-SUZANNE

Toute la région de Bois Rouge à Sainte-Suzanne a été formée à l'abri de l'immense cône de déjection de la Rivière du Mât, grâce à l'apport en alluvions de ce cours d'eau, et, dans une moindre mesure, aux apports en matériaux des rivières et ravines de cette portion de littoral.

L'embouchure de la Rivière Sainte-Suzanne se situe ainsi dans un littoral entièrement sédimentaire, mobile sous l'action de l'océan ou de la rivière.

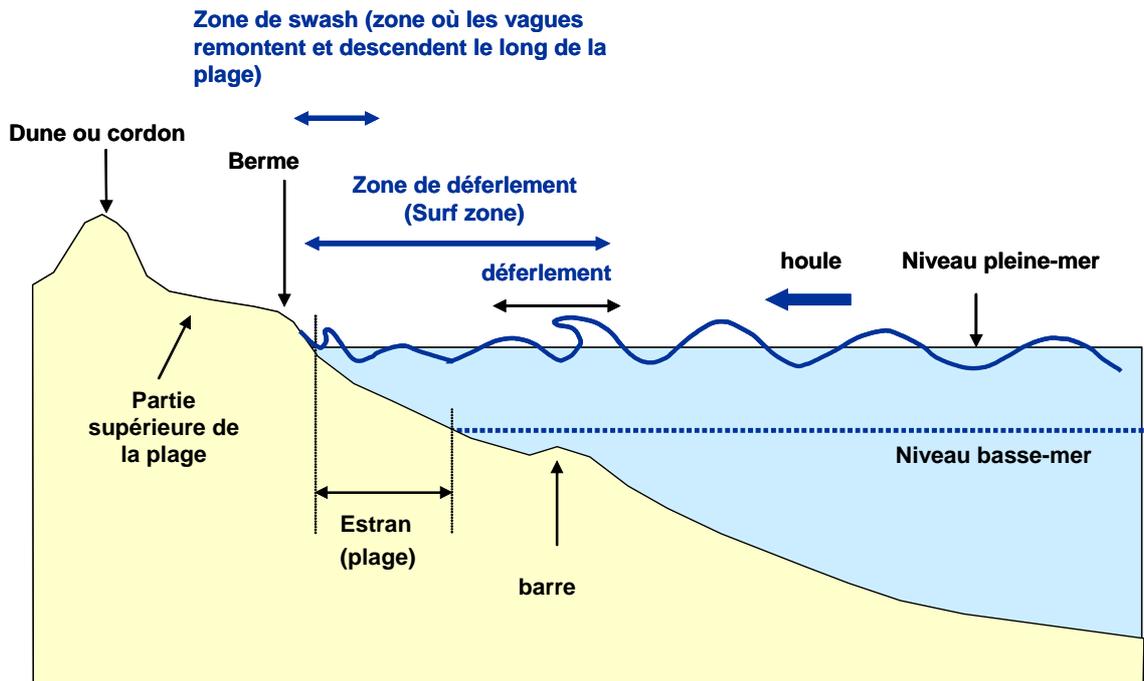
4.2. GENERALITES SUR LE FONCTIONNEMENT SEDIMENTAIRE DU LITTORAL

4.2.1. PRINCIPES GENERAUX

Selon la nature et les caractéristiques du matériau constituant un littoral, ce dernier réagira différemment sous les actions hydrodynamiques auxquelles il est soumis.

Dans la zone côtière, les mouvements sédimentaires sont dus aux effets des houles, marées, vents (agissant seul ou se superposant les uns aux autres) et aux courants qu'ils engendrent.

D'une façon générale, et comme c'est le cas sur l'ensemble du littoral réunionnais, le facteur prépondérant intervenant dans la dynamique sédimentaire est la **houle**. Cette dernière façonne le littoral et modèle le débouché des rivières.



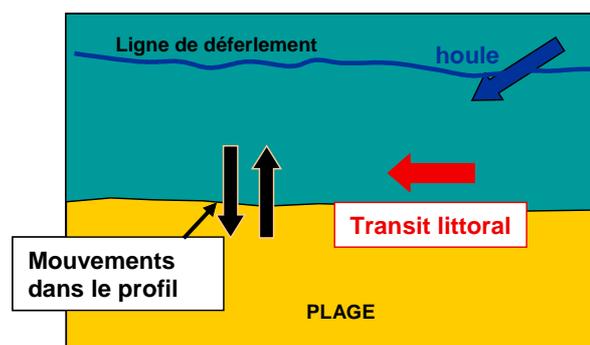
Les houles exercent des actions qui varient tout le long du profil, les sédiments «se trient » pour s'adapter à ces conditions. C'est notamment le cas de la plage avec l'estran (la partie la plus « vivante » du littoral) et de son prolongement à terre que constitue le cordon.

Les triages granulométriques dans le profil se font généralement de telle sorte que :

- ↪ les matériaux les plus grossiers se trouvent au niveau de la ligne de déferlement (l'énergie des vagues y est dissipée et transformée principalement en turbulence qui remet en mouvement les sédiments),
- ↪ de cette ligne vers la terre il y a d'abord diminution de la granulométrie puis augmentation jusqu'au haut de plage,
- ↪ au large du déferlement le sédiment s'affine avec l'augmentation de profondeur.

Les mouvements sédimentaires les plus importants se produisent à proximité immédiate du littoral (sur la plage et les petits fonds), c'est-à-dire dans la zone où les vagues déferlent.

4.2.2. MOUVEMENTS DANS LE PROFIL ET TRANSIT LITTORAL



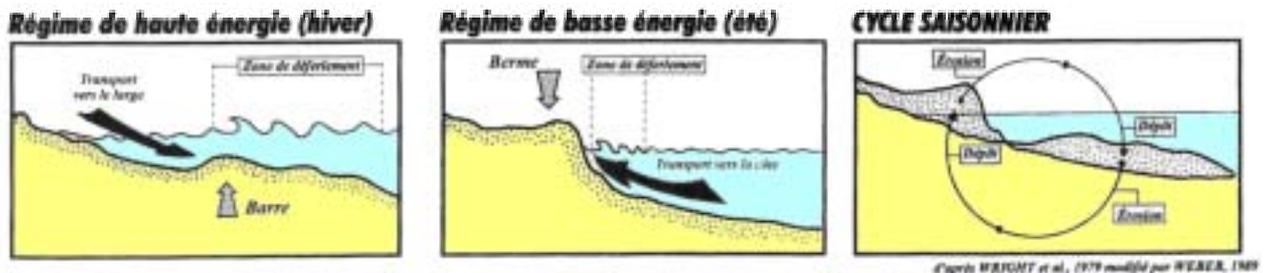
La houle peut se présenter :

- soit frontalement au littoral,
- soit de façon oblique.

La houle arrivant frontalement sur la plage occasionne des mouvements et déplacements de sédiments « **dans le profil** » ; la pente de celui-ci s'adapte aux caractéristiques de la houle :

- ↪ remontée des matériaux vers la haute plage en période de calme relatif (engraissement de l'estran),
- ↪ départ des sédiments vers le large en période de forte agitation (dégarnissement de l'estran).

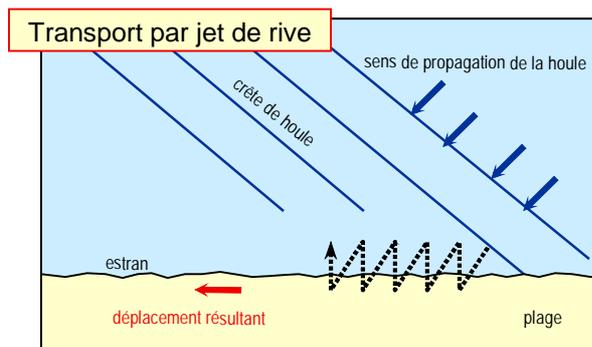
Les mouvements dans le profil peuvent entraîner des variations saisonnières importantes au niveau du trait de côte, de la plage et des petits fonds marins ; en général, ils n'engendrent pas d'évolutions à long terme.



Une houle se présentant avec une **certaine obliquité** par rapport aux isobathes et au rivage génère un transport de matériaux parallèlement au rivage, dans le sens de propagation de la houle (**dérive littorale ou transit littoral**).

Les mouvements fondamentaux sont de deux types :

- ↪ le transport par jet de rive :
 - le déferlement arrache le sédiment du fond et le projette lors du « jet de rive » (swash) vers la rive dans le sens et la direction des lames déferlantes,
 - la descente de l'eau sous l'action de la pesanteur ramène le sédiment vers le bas de plage, suivant la direction de la ligne de plus grande pente,
 - *il en résulte un déplacement (par roulement et saltation) en dents de scie qui a une composante parallèle à la côte dans le même sens que la propagation de la houle.*



- ↳ le transports dans les rouleaux de déferlement :
- le déferlement des lames obliques à la côte donne naissance à un courant (longshore current, localisé dans la zone comprise entre le déferlement et la côte) parallèle au rivage et dont le sens est celui de la composante suivant le rivage de la célérité des vagues.
 - c'est ce courant littoral qui entraîne les matériaux (majoritairement en suspension).



D'après SHEPARD et INMANN, 1950, modifié par HOWA, 1987

Les évolutions à long terme les plus importantes sont généralement engendrées par le gradient (naturel et/ou artificiel) du transit littoral.

Sur un littoral sableux, les transports dans les rouleaux de déferlement représentent la grande part du transit littoral, les remaniements s'effectuant dans le déferlement et jusque par des profondeurs inférieures à 2,5 à 3 fois la hauteur des vagues.

Le transport par jet de rive ne représente qu'une faible partie des transports longitudinaux sur un littoral sableux. **Dans le cas d'un littoral de graviers et galets, il est très important voire prédominant.**

4.3. LE REGIME SEDIMENTAIRE DU LITTORAL DE SAINTE-SUZANNE

Les sédiments du littoral de Sainte-Suzanne proviennent :

- ↳ des apports actuels des rivières situées à l'Est du débouché,
- ↳ des sédiments fossiles mis en place lors de l'édification de l'ancien delta de la rivière du Mât.

Ces matériaux sont essentiellement des galets présentant un diamètre moyen de 15 à 20 cm sur l'estrans et le cordon de haut de plage et de 30 à 50 cm dans les fonds marins de -3 à -10 m (matériaux fossiles pour ces derniers).

En dehors des épisodes cycloniques, pendant lesquels le caractère aléatoire des houles, surcotes du plan d'eau et vents que les cyclones peuvent générer ne permet pas de définir de schéma général, le régime sédimentaire du littoral de Sainte-Suzanne peut être caractérisé comme suit :

- ↳ les matériaux charriés par les rivières, lors des épisodes pluvieux, sont évacués sur le trait littoral, participent au développement des cônes alluviaux et alimentent le littoral ; la fraction fine est dispersée vers la large ou entraînée par les courants littoraux ; la houle tend à étaler les matériaux les plus grossiers, niveler les cônes de déjection et régulariser le rivage,
- ↳ les houles régnantes d'alizés génèrent un transit littoral résultant dirigé d'Est en Ouest (comme en atteste la formation d'une « flèche » au travers du débouché) et qui s'effectue (cheminement des galets) sur l'estran et jusque par des fonds de -3 à -4 m, soit à terre du déferlement,
- ↳ la capacité de transport des houles ne serait que de quelques milliers de m³/an.

La relative faiblesse des volumes de matériaux apportés par les rivières à la plage active, au regard des capacités de transport par la houle est à l'origine d'un bilan plutôt déficitaire qui se traduit par des tendances érosives.

L'érosion du littoral à l'Ouest du débouché de la rivière Sainte-Suzanne est moindre qu'à l'Est ; il « bénéficie » des matériaux repris par les houles au cône alluvial et des apports de la rivière, même si ceux-ci sont très faibles.

Le suivi du trait de cote de 1950 à 1997 (BRGM, 2001) indique en effet pour le littoral à l'est du débouché un recul d'environ 40 m sur cette période et une relative stabilité pour le littoral l'ouest du débouché (recul inférieur à 20 m sur cette période).

Un bilan simplifié sur le littoral à l'est du débouché met en évidence un rythme d'érosion de l'ordre de 2 000 à 2 500 m³/an.

En comparaison, avec des conditions de houle similaires, il a été évalué un transit littoral de l'ordre de 15 000 m³ sur le littoral de Saint-Denis à l'est de la Pointe des Jardins, pour cependant des matériaux plus fins, et une proximité de sources d'apport très importantes (Ravine Patates à Durand, Rivière des Pluies).

Transposé au littoral de Sainte-Suzanne, la capacité de transport serait de l'ordre de 9 000 m³/an, pour un transit littoral effectif sans doute inférieur (éloignement des sources d'apports importants, Rivière du Mât notamment).

On retiendra, compte tenu des éléments disponibles, un transit littoral de l'ordre de 5 000 à 7 500 m³/an.

4.4. LE CORDON LITTORAL DE GALETS

Les mouvements sédimentaires les plus importants se produisent à proximité immédiate du littoral, c'est-à-dire dans la zone où les vagues déferlent.

Comme sur tout littoral de galets, les mouvements de matériaux sont relativement faibles et limités à l'estran et aux petits fonds marins. Ces mouvements sont à l'origine de la construction du cordon.

Le cordon est alimenté par :

- ↳ les apports des rivières situées à l'Est du débouché ; les matériaux charriés lors des épisodes pluvieux sont véhiculés par le transit littoral ; celui-ci s'opère majoritairement par transport par jet de rive (cf. paragraphe 4.2.2) ;

- ↳ la fraction la moins « grossière » des sédiments fossiles constituant les petits fonds marins ; ces matériaux sont remontés par les houles vers la haute plage en période de calme relatif (engraissement de l'estran et du cordon) ; à l'inverse le départ des sédiments vers le large en période de forte agitation dégarnissent l'estran.

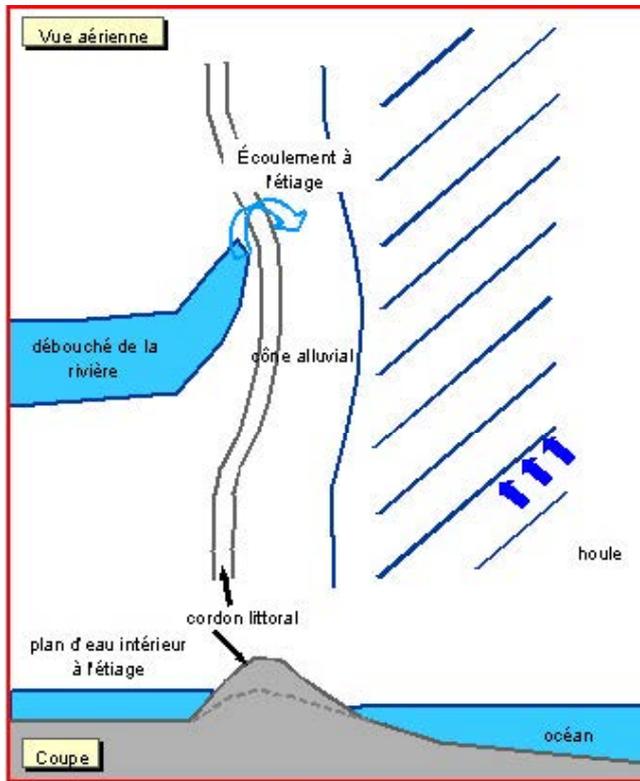
Quelques remarques générales¹ :

- ↳ Un littoral de galets subit des remaniements et déplacements sédimentaires surtout au voisinage de l'estran²
- ↳ Les galets peuvent se déplacer sur une épaisseur mobile de 0,5 à 0,6 m et parcourir quelques dizaines de mètres par jour au cours de fortes agitations.
- ↳ La hauteur de la crête d'un cordon de galets au dessus du niveau des plus hautes mers est sensiblement égale à la hauteur de la houle au déferlement.

¹ Résultats de mesures et observations in situ, en Manche principalement, et en laboratoire

² Des galets de 5 à 10 cm (20 à 30 % des matériaux constituant les fonds marins devant Sainte-Suzanne) n'ont pas de mouvements significatifs par des fonds supérieurs à 5 m.

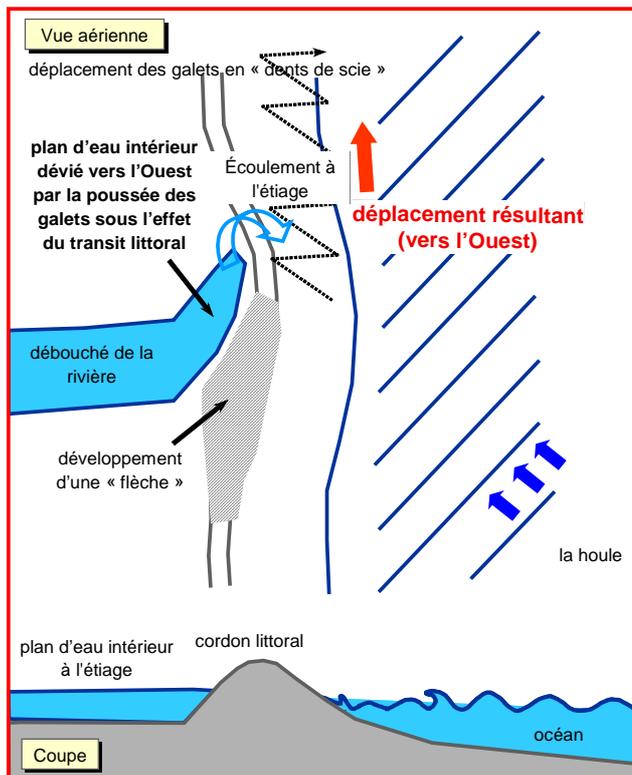
4.5. LE CORDON LITTORAL DE SAINTE-SUZANNE



Le littoral de Sainte-Suzanne est relativement rectiligne à l'exception de la zone du débouché de la rivière qui marque une avancée en mer (cône alluvial), avancée plus ou moins prononcée selon les conditions météo-océanographiques qui ont précédé.

Le débouché de la rivière se termine par un plan d'eau barré par le cordon de galets littoraux, comme toutes les rivières du littoral de la façade NE de la Réunion.

4.5.1. EVOLUTION DU CORDON DE GALETS EN REGIME COURANT



En régime courant (hors périodes pluvieuses significatives), l'activité de la houle et du courant littoral l'emporte sur celle des écoulements de la rivière.

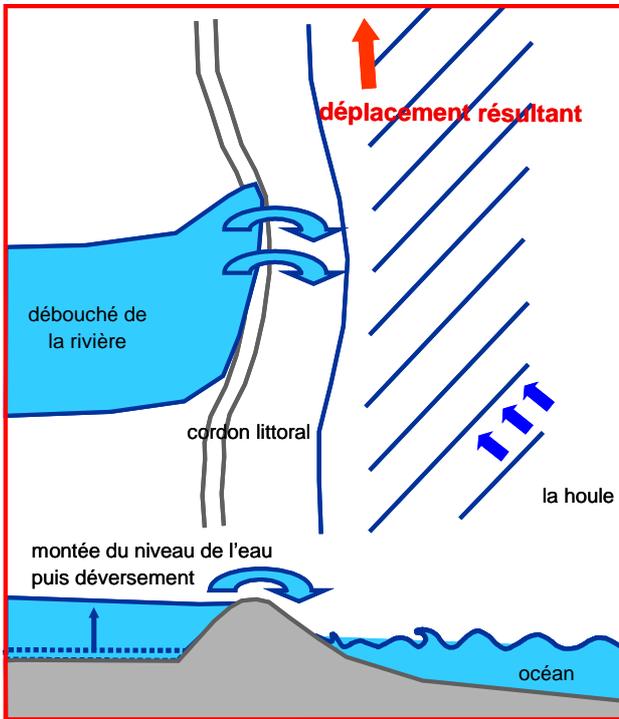
La plage et le cordon de galets s'adaptent aux conditions océaniques et plus précisément aux caractéristiques de l'agitation.

Les houles régnantes d'alizés :

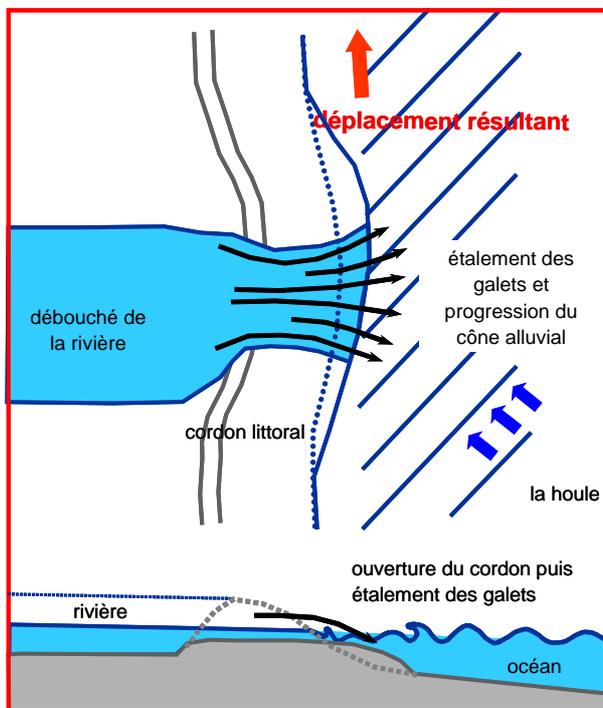
- ↳ font cheminer les galets (déplacements en dents de scie) avec une résultante des transports vers l'ouest,
- ↳ tendent à niveler le cône alluvial (formé à l'occasion d'un événement exceptionnel précédent) et à régulariser le rivage.

Le cordon littoral s'engraisse et sa crête s'établit autour de 3,5 à 4,5 m NGR (hors point de sortie de l'écoulement d'étiage).

4.5.2. EVOLUTION DU CORDON DE GALETS EN PERIODE DE CRUES



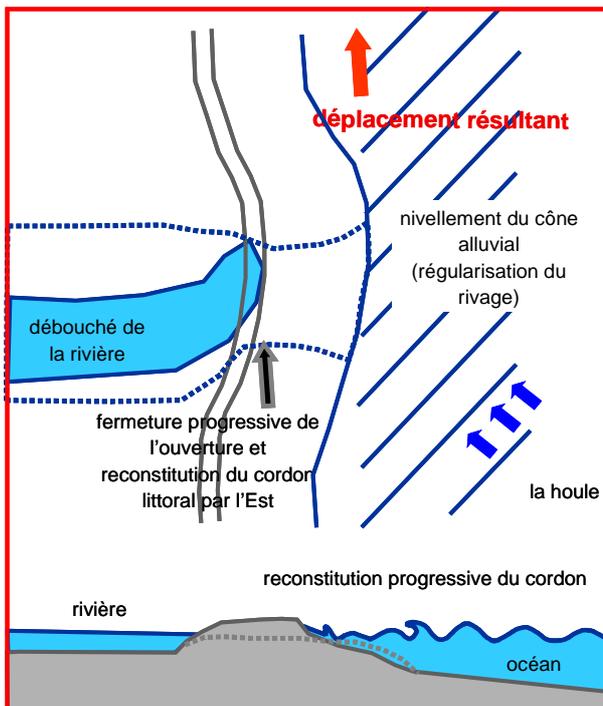
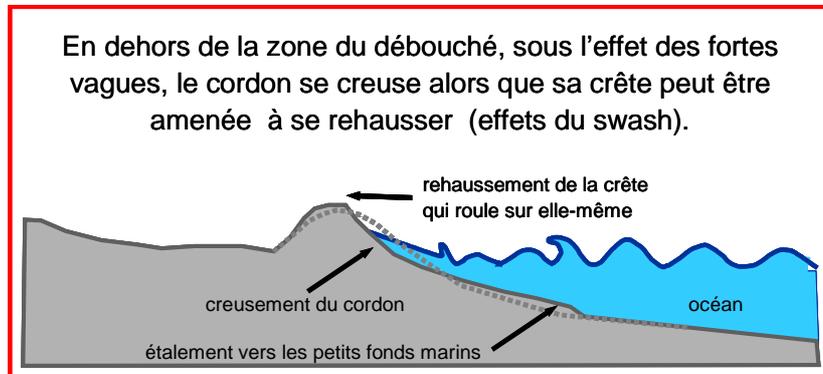
Lors des crues la rivière sort de son lit mineur et le niveau de l'eau monte progressivement jusqu'à atteindre et déborder la crête du cordon de galets.



Le déversement de l'eau s'accompagne d'un étalement des galets en crête du cordon. Dès qu'une brèche s'ouvre en haut de cordon, le « barrage » que constitue ce cordon est enfoncé ; un chenal s'établit, permettant à la rivière de s'écouler.

L'importance de ce chenal et la rapidité de son ouverture dépend de la magnitude du débit du cours d'eau et des conditions océanographiques.

Lorsque les épisodes pluvieux s'accompagnent d'un renforcement significatif de la mer (dépression tropicale ou cyclone), la zone du débouché (plage et cordon) est soumise à des actions antagonistes des fortes vagues qui remontent les galets lors du swash et l'écoulement des eaux qui les repoussent.



A la fin de la crue, la houle et le courant littoral reforment ensuite le « barrage ».

4.6. CONSEQUENCES SUR LES INONDATIONS A L'AMONT

Le cordon de galets littoral au débouché de la Rivière Sainte-Suzanne est à l'origine d'une aggravation (dont l'importance dépend des conditions océaniques) des niveaux d'inondation à l'amont. Cette influence s'étend sur un grand secteur, la plaine de Sainte-Suzanne étant située à une faible altitude. Le secteur d'influence concerne grossièrement la partie de la plaine à l'aval de la RN1.

« L'aggravation » sur les niveaux d'inondation consécutive à la présence du cordon littoral est variable selon l'importance des crues et les conditions de houle. Elle se situe de façon simplifiée dans un intervalle de + 0,5 m (pour une crue centennale) à + 1,5 – + 1,7 m (pour une crue décennale).

C'est l'importance de cette hausse des niveaux qui a justifié le choix de la solution d'aménagement, avec un ouvrage maintenant libre le débouché en mer de la rivière. Cet objectif sera atteint par la réalisation de deux digues en mer, empêchant le cordon littoral de se former.

4.7. ROLE DE L'ANCIEN CFR

L'ancien CFR (Chemin de Fer de la Réunion) traverse la commune de Sainte-Suzanne en longeant le littoral. Il franchit la Rivière Sainte-Suzanne à proximité immédiate de son débouché en mer, par un ouvrage, aujourd'hui en partie détruit (lors de la crue de février 1998), d'une ouverture entre culées de 30 m. De part et d'autre de cet ouvrage, l'ancienne voie CFR forme un remblai parallèle au littoral, dont la crête est à la cote de 4,50 à 4,80 m NGR, et qui limite la zone inondable de la rivière.

Avec ces caractéristiques, l'ancien CFR a une forte influence sur l'écoulement des crues de la rivière et les niveaux d'inondation à l'amont.

Les différents essais réalisés sur le modèle réduit physique ont permis de quantifier l'influence intrinsèque de cet ouvrage, en l'absence de contrainte au niveau du cordon littoral. Elle est comprise entre +1,0 m (crue décennale) et +2,2 m (crue centennale). En l'état actuel, selon les conditions marines, il se produit une surverse des eaux par dessus le remblai de l'ancien CFR à partir de la crue décennale à cinquantiennale.

4.8. JUSTIFICATION DE LA SOLUTION RETENUE

Pour répondre à l'objectif de protection des lieux habités contre les inondations de la Rivière Sainte-Suzanne, la solution retenue comporte, comme aménagement principal, un dispositif permettant à la fois :

↳ **de se soustraire à la contrainte du cordon littoral**

↳ **d'agrandir l'ouverture laissée aujourd'hui par l'ancien CFR.**

Il s'agit de deux digues, enracinées au niveau de l'ancien CFR avec une ouverture de 100 m environ, se prolongeant de façon convergentes vers l'océan jusqu'à des fonds de -2 à -3 m NGR, avec une ouverture de 50 m en extrémité. Cette implantation convergente permet de minimiser la remontée de la houle et le risque de formation d'un cordon entre les digues.

Ces deux digues constituent l'élément principal des aménagements de protection contre les crues, avec la digue du Foutac qui isole le quartier de la Marine des inondations de la Grande Rivière Saint-Jean et du Foutac.

Les autres aménagements constituent des mesures d'accompagnement du projet.

4.9. INTERVENTION MANUELLE SUR LE CORDON

L'ouverture manuelle du cordon (avec des engins adaptés) pour supprimer cette contrainte sur l'écoulement des crues se heurteraient à plusieurs difficultés :

- ↪ En période de forte houle, la reformation du cordon après intervention peut être très rapide (de l'ordre de quelques heures) et rendre inutile une ouverture préventive ;
- ↪ L'intervention au moment de l'événement météorologique (crue, houle, cyclone) serait très délicate, voire impossible (vagues submergeant le cordon, courant, projection de galets, vent, etc.) ;
- ↪ Pour atteindre un même niveau d'efficacité sur l'écoulement des crues, l'ouverture manuelle devra être de grande ampleur. La taille importante des galets les rend peu mobiles et ne facilite pas la poursuite "naturelle" de l'ouverture de la brèche après amorçage, par les écoulements de crue.

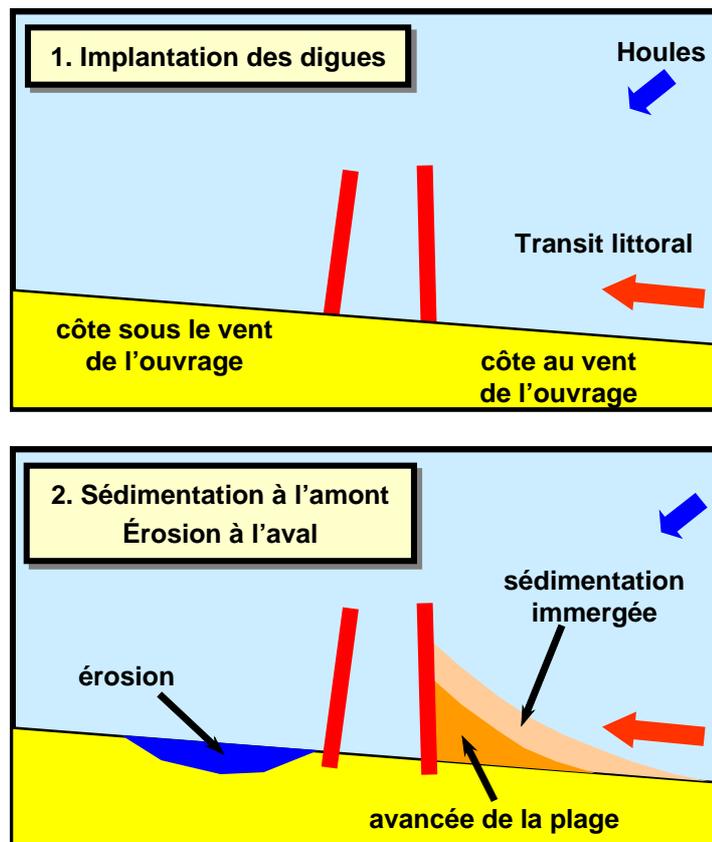
5. IMPACT DU PROJET SUR L'EQUILIBRE SEDIMENTAIRE DU LITTORAL

5.1. IMPACT GENERAL D'UN OUVRAGE PERPENDICULAIRE AU LITTORAL

Tout ouvrage implanté sur un littoral va en modifier le régime naturel.

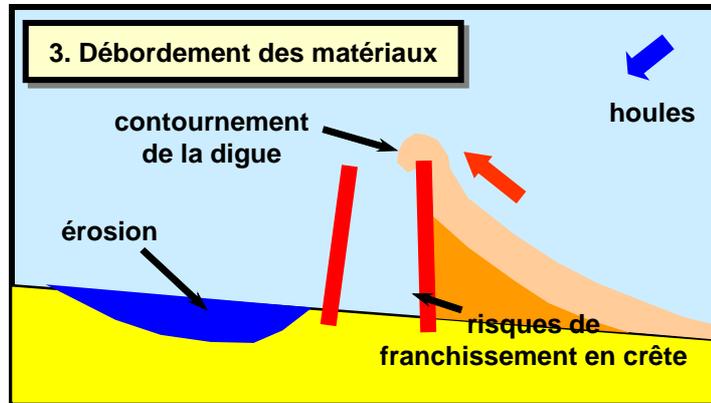
Un ouvrage implanté perpendiculairement sur une côte où les mouvements prédominants de sédiments sont parallèles à la côte, interrompt le transit littoral et provoque une accumulation de matériaux.

L'accumulation au vent tend à épouser la forme des crêtes des houles passant par l'extrémité de l'ouvrage de telle sorte que le transit littoral devienne minimum.



En contrepartie, l'arrêt partiel ou total du transit littoral entraîne dans la zone sous le vent de l'ouvrage un déficit sédimentaire susceptible de provoquer une érosion.

Lorsque l'extrémité du dépôt est assez proche du musoir de l'ouvrage, le transit littoral reprend alors en contournant cet ouvrage.



L'efficacité d'un ouvrage (en terme de capacité d'accumulation) sera d'autant plus grande :

- ↳ que le transit littoral s'effectue sur le haut estran,
- ↳ que la longueur de l'ouvrage sera plus importante.

5.2. IMPACT DES OUVRAGES PROJETES SUR LE TRANSIT LITTORAL

5.2.1. LES OUVRAGES PRECONISES

Il s'agit de deux digues de 130 m (digue Ouest) et de 165 m (digue Est) de longueur et s'avancant en mer jusque des fonds de -2 à -3 m NGR respectivement. Légèrement inclinées par rapport au rivage, elles se referment à leur extrémité pour former un convergent, le chenal intérieur étant dragué à -1 m NGR et la largeur de la « passe » ainsi aménagée étant de 50 m ; ces dispositions ont pour but de favoriser l'étalement des matériaux charriés par la rivière ou contournant le musoir des digues par une accélération des écoulement vers l'aval.

La crête des digues, légèrement plongeantes, est calée à +5,0 m (tronçon à l'enracinement) et +4,5 m NGR (tronçon terminal).

5.2.2. LES IMPACTS DES OUVRAGES SUR LE CHEMINEMENT DES GALETS

Au regard des caractéristiques des ouvrages, de la dynamique hydrosédimentaire du site et des résultats de la modélisation physique de 1997/99 (SOGREAH, étude globale) les effets attendus des digues sur le cheminement des galets seront :

- ↳ une accumulation de galets sur la face Est de la digue Est,
- ↳ une tendance érosive accrue du rivage à l'Ouest des digues et du nouveau débouché.

5.2.2.1. LE RIVAGE A L'EST DU NOUVEAU DEBOUCHE

La digue Est va intercepter une grande partie du cheminement des galets. Il en résultera une accumulation de galets sur sa face Est. Le rivage va alors progresser contre la digue, jusqu'à ce que le pied de la plage sous-marine (fonds autour de -1 m) atteigne son extrémité.

La capacité de stockage de l'ouvrage (avant le début de contournement significatif du musoir de la digue par les galets ; on parle alors de plage « saturée ») peut être estimée, en première approche, de l'ordre de 40 000 m³ ; cela représenterait entre 5 à 8 ans de « stockage »³ de galets.

C'est au bout de cette période que la digue serait débordée par les galets à son extrémité.

A ce stade, l'accumulation à l'est devrait affecter un linéaire de 500 m tout au plus ; sur ce linéaire, **la tendance érosive constatée actuellement va s'inverser, le rivage devant progresser avec un taux décroissant d'ouest en est.**

Contre la digue Est, l'effet « coin » (rencontre de l'onde se propageant contre la digue et de celle arrivant obliquement au rivage) va contribuer à renforcer localement l'agitation. En période de mer agitée, il faut s'attendre à ce que des galets soient remontés à pleine mer contre la digue (effet de swash) à des hauteurs supérieures à la cote d'arase de l'ouvrage. Des atterrissements de galets dans le chenal sont donc prévisibles.

Des mesures d'accompagnement devront être envisagées pour limiter ces risques (cf. paragraphe 5.3).

5.2.2.2. LE RIVAGE A L'OUEST DU NOUVEAU DEBOUCHE

L'arrêt quasi total du transit littoral par la digue Est va entraîner un déficit sédimentaire sur la côte à l'Ouest du débouché. La tendance érosive constatée actuellement (faible, il est vrai) va s'amplifier.

Ce phénomène ne devrait toucher que la zone proche de la digue Ouest⁴, soit sur un linéaire ne devant pas dépasser 200 à 300 m.

Pour limiter les processus érosifs occasionnés par les ouvrages sur cette partie du littoral de Sainte-Suzanne, il conviendrait d'envisager des mesures visant à rétablir de façon artificielle le transit littoral pour compenser le déficit sédimentaire (si aucune mesure n'était prise à terme, les érosions à l'ouest pourraient être beaucoup plus conséquentes que celles évoquées ci-dessus).

³ Durée qui pourrait être réduite si des événements cycloniques intervenaient pendant cette période

⁴ Les courants d'expansion qui se développent sous le vent des ouvrages devraient être à l'origine d'une accumulation de galets très localisée contre la face Ouest de la digue Ouest.

5.2.2.3. LA ZONE DU DEBOUCHE

Dans les premières années suivant la réalisation de l'aménagement (sauf événement exceptionnel de forte magnitude ou bien se présentant dans l'axe du nouveau chenal), les résultats du modèle physique indiquent qu'il n'y a pas lieu de craindre de formation d'un cordon de galets significatif dans le chenal ou au débouché.

Les matériaux d'origine marine (transit littoral) devraient être arrêtés par les digues et les apports solides fluviaux (qui interviennent lors d'événements pluvieux, donc avec des débits conséquents) devraient être étalés par les crues.

On peut craindre, par contre, une fois les musoirs contournés par les galets, la formation d'un bourrelet au droit de la nouvelle passe, galets qui pourraient être remontés à l'intérieur du « chenal » par les houles diffractées sur le musoir de la digue Ouest.

5.3. MESURES D'ACCOMPAGNEMENT – RECOMMANDATIONS

5.3.1. PERIODE DE REALISATION DE L'AMENAGEMENT

Pour limiter l'importance des processus érosifs sur le littoral à l'Ouest des ouvrages, une partie des produits de creusement du chenal pourrait être rejetée à l'Ouest de la digue Ouest pour compenser le déficit en galets attendu avec l'arrêt du transit littoral.

5.3.2. UNE FOIS L'AMENAGEMENT REALISE

Avant que la plage à l'est de la digue Est ne soit saturée (soit a priori une demi-douzaine d'années après la réalisation de l'aménagement), il conviendrait de procéder à un retrait des galets de la zone d'accumulation à l'est vers la zone d'érosion à l'ouest (rétablissement artificiel du transit littoral) ; un retrait de 25 000 à 38 000 m³ tous les 5 ans pourrait être envisagé⁵.

Après chaque événement cyclonique, il sera peut-être nécessaire de « nettoyer » le chenal des éventuels atterrissements de galets après franchissement de la digue sur son tronçon à l'enracinement.

Comme cela a été également préconisé à l'issue de l'étude globale, la capacité de stockage aménagée par le curage du canal de dérivation en amont du débouché permettraient de minimiser les risques de colmatage du chenal par les apports solides de la rivière.

5.3.3. SUIVI TOPOGRAPHIQUE ET BATHYMETRIQUES

Associé à ces interventions, un suivi topographique du cordon littoral et de l'estran sur un linéaire d'environ 1,5 km de part et d'autres des digues devra être réalisé annuellement, et après chaque événement remarquable (crue ou houle).

⁵ Ce volume représente environ 2 500 à 3 800 camions dont l'itinéraire devra être étudié afin de réduire les nuisances.

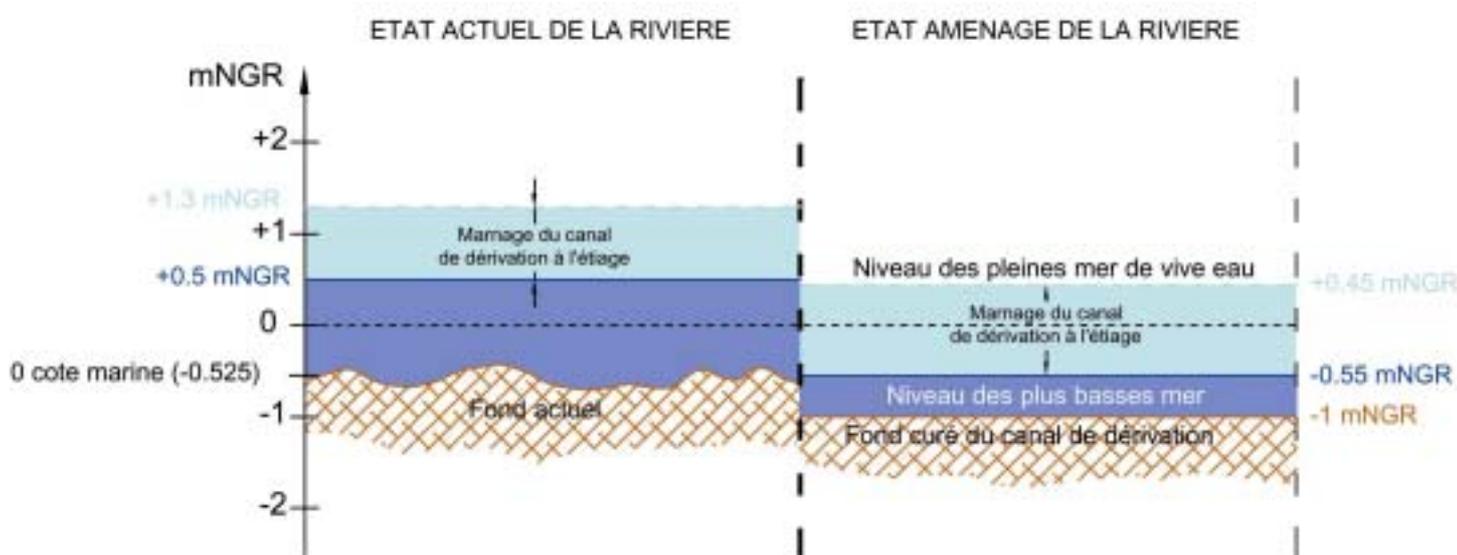
6. AUTRES IMPACTS PREVISIBLES DES DIGUES EN MER

6.1. IMPACT SUR LES NIVEAUX A L'ETIAGE DE LA RIVIERE

Aujourd'hui, les niveaux à l'étiage de la Rivière Sainte-Suzanne (méandre) et de son canal de dérivation (à l'aval du radier de la RN 2002) sont directement lié aux caractéristiques du cordon littoral et de la brèche par laquelle se déversent dans l'océan le débit d'étiage.

Après réalisation des deux digues en mer et suppression du cordon littoral, les niveaux d'étiage seront directement liés aux niveaux marins et donc principalement, en période de temps calme, dépendants des marées.

La figure suivante synthétise cet impact.



Cette baisse des niveaux (en moyenne de 0,80 à 1,0 m), outre ses incidences directes (diminution de la hauteur d'eau, effet sur la végétation des berges), aura également des conséquences importantes sur le fonctionnement des zones humides associés à la rivière :

- ↳ Zones humides en rive gauche du méandre (à proximité de la passerelle et à l'amont immédiat de l'ancien CFR) ;
- ↳ Zone humide liée au débouché de l'ex-ruisseau la Vigne en rive droite du canal de dérivation.

Une baisse significative des niveaux à l'étiage pourra entraîner la disparition de ces zones humides si des mesures d'accompagnement ne sont pas prises (cf. paragraphe 6.4).

6.2. IMPACT SUR LA REMONTEE DE LA HOULE DANS LA RIVIERE

Cette remontée de houle est aujourd'hui absente. Après réalisation des deux digues en mer, la houle remonte presque exclusivement dans le canal de dérivation.

Pour une houle d'alizé maximale annuelle, les vagues résiduelles atteignent une hauteur de 0,30 à 0,40 en partie aval du canal de dérivation (sans atteindre le radier) et de 0,1 m à l'aval du méandre.

Pour une houle cyclonique trentennal survenant rivière à l'étiage (cas très pessimiste) la houle résiduelle atteint 1,1 m en partie aval du canal de dérivation, et se propage jusqu'au radier avec des submersions possibles sur celui-ci. Ces caractéristiques seront prises en compte dans le projet de protection des berges du canal de dérivation et de sa confluence avec le méandre.

6.3. IMPACT SUR LA SALINITE DES EAUX DE LA RIVIERE (MEANDRE ET CANAL DE DERIVATION)

6.3.1. ETAT ACTUEL

Les mesures de qualité des eaux, réalisées par l'OLE (ex-ORE) en 2002 et 2003, complétées par des mesures spécifiques réalisées en 1997 et en 1990-1991, permettent d'appréhender de façon grossière la salinité des eaux à partir de leur conductivité.

On peut ainsi faire les constats suivants :

- ↪ L'eau est douce à l'amont de la RN2 quelque soient les conditions de débit ;
- ↪ A l'embouchure, la salinité varie en fonction des conditions de débits et des intrusions d'eaux marines mettant en évidence une eau douce à saumâtre. Les mesures montrent un taux de sels dissous pouvant atteindre ponctuellement 6 à 7 g/L (soit quatre à cinq litres d'eau douce pour 1 litre d'eau de mer), mais se situant en moyenne autour de 0,5 à 1 g/L ;
- ↪ Les informations disponibles ne sont pas suffisantes pour caractériser la salinité au sein du méandre et du canal de dérivation.

6.3.2. APRES REALISATION DES DEUX DIGUES EN MER

La salinité après réalisation des deux digues en mer dépendra de plusieurs paramètres :

- ↪ Débits d'eaux douces (méandre, canal de dérivation, ex-ruisseau la Vigne) ;
- ↪ Marées et autres variations du niveau de la mer ;
- ↪ Houles et leur propagation dans le méandre et le canal de dérivation.

Pour approcher la situation future de façon simplifiée, deux moyens ont été prévus être mis en œuvre :

- ↳ Des mesures locales de débit et de conductivité, pour mieux cerner, en l'état actuel, les variations entre méandre et canal de dérivation, en liaison avec les apports d'eau douce ;
- ↳ Des comparaisons avec des situations similaires existantes ;
- ↳ Une approche théorique, selon les éléments disponibles.

Nous avons eu la chance de disposer, pour les mesures de débit et de conductivité, de conditions très favorables, s'approchant des conditions futures. Nous avons fait alors le choix de donner la priorité à ces mesures par rapport à une approche théorique plus incertaine.

6.3.2.1. MESURES LOCALES DE CONDUCTIVITE ET DE DEBITS

L'objectif de ces mesures est d'établir un état initial de la conductivité en mettant en évidence les variations éventuelles d'un point à un autre, en relation avec des mesures de débits des apports d'eau douce. La date des mesures est en outre choisie pour bénéficier de conditions (débit, ouverture du cordon, houle) se rapprochant le plus possible des conditions futures d'intrusion saline.

Ces mesures ont été réalisées le Vendredi 4 février 2005 de 9 h à 15 h.

Les conditions ont été particulièrement favorables à des intrusions salines :

- ↳ Cordon largement ouvert par la crue importante du 15 décembre 2004 et les crues moindres suivantes, et – c'est à vérifier – par le tsunami du 26 décembre 2004 ;
- ↳ Pas ou peu de fermeture du cordon par la houle, peu active pendant la période précédant les mesures ;
- ↳ Débit relativement faible (absence de pluie les jours précédents).
- ↳ Mesures réalisées de Pleine Mer -1 à PM +5, avec cependant des marées moyennes (PM à 0,71 CM) ;
- ↳ Houle modérée (estimée de 1,50 à 2 m au déferlement).

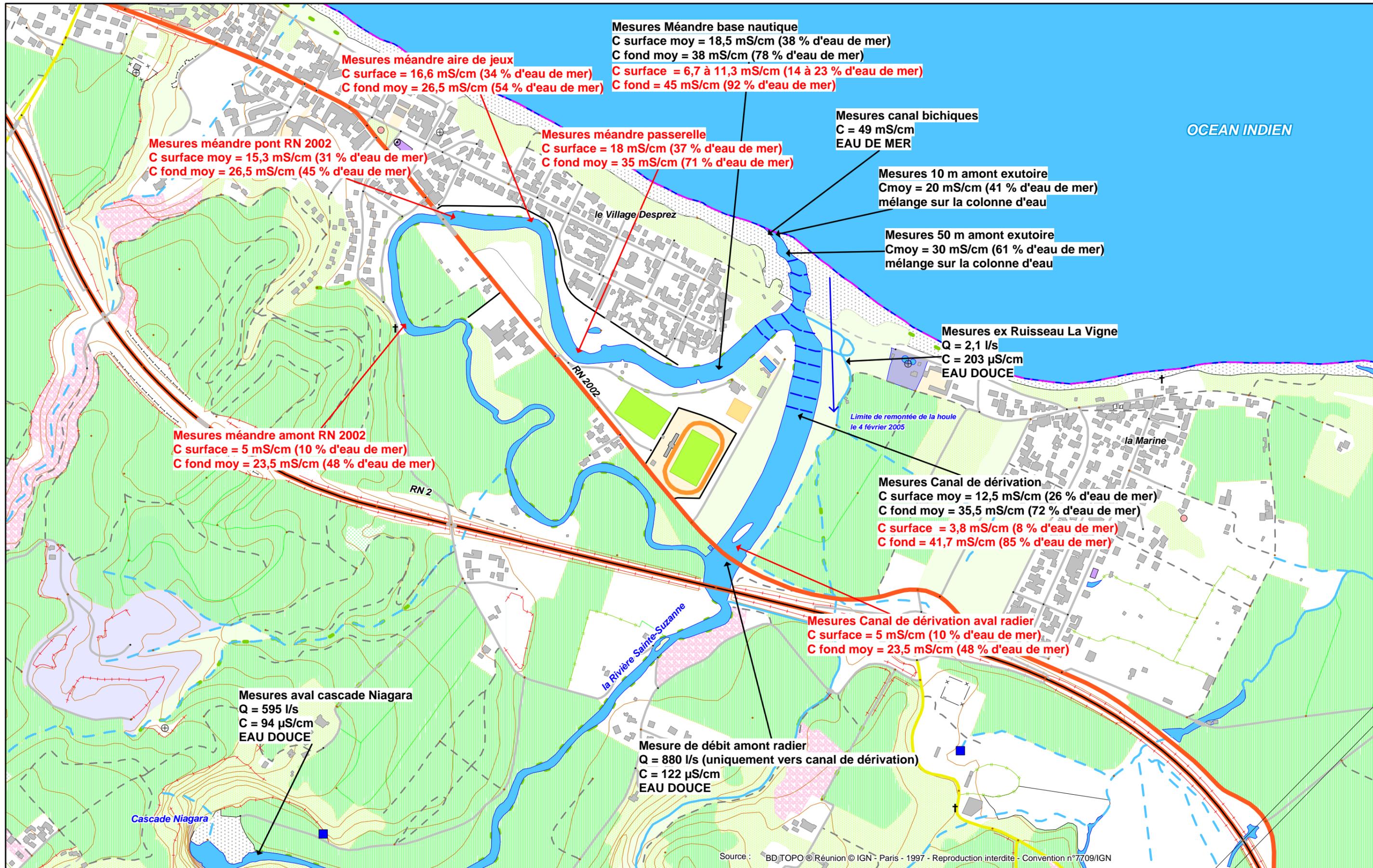
Elles ont été complétées par des mesures de conductivité réalisées le 14 février 2005 dans des conditions similaires, dans le but de mieux caractériser la stratification eau douce / eau salée. Ces mesures ont été réalisées de PM-2 à PM.



Photo n°1 – CORDON OUVERT LE 3 FEVRIER 2005

La photo ci-dessus montre l'aspect du cordon la veille des mesures, avec un chenal à bichiques au premier plan, et le chenal principal au second plan. La hauteur d'eau estimée du chenal au droit du littoral est de 1,50 à 2,00 m. La houle résiduelle pénètre vers l'amont.

La carte page suivante synthétise les mesures de débit et de conductivité réalisés. L'importante profondeur d'eau au débouché de la rivière a empêché la réalisation de mesure de débit en toute sécurité par les moyens dont nous disposions. Cette lacune n'a pas permis d'évaluer le débit total évacué vers la mer par la rivière et les apports par la nappe entre la RN 2002 et la mer, tant sur le méandre que sur le canal de dérivation.



Mesures méandre aire de jeux
 C surface = 16,6 mS/cm (34 % d'eau de mer)
 C fond moy = 26,5 mS/cm (54 % d'eau de mer)

Mesures Méandre base nautique
 C surface moy = 18,5 mS/cm (38 % d'eau de mer)
 C fond moy = 38 mS/cm (78 % d'eau de mer)
 C surface = 6,7 à 11,3 mS/cm (14 à 23 % d'eau de mer)
 C fond = 45 mS/cm (92 % d'eau de mer)

Mesures méandre pont RN 2002
 C surface moy = 15,3 mS/cm (31 % d'eau de mer)
 C fond moy = 26,5 mS/cm (45 % d'eau de mer)

Mesures méandre passerelle
 C surface = 18 mS/cm (37 % d'eau de mer)
 C fond moy = 35 mS/cm (71 % d'eau de mer)

Mesures canal bichiques
 C = 49 mS/cm
 EAU DE MER

Mesures 10 m amont exutoire
 C moy = 20 mS/cm (41 % d'eau de mer)
 mélange sur la colonne d'eau

Mesures 50 m amont exutoire
 C moy = 30 mS/cm (61 % d'eau de mer)
 mélange sur la colonne d'eau

Mesures ex Ruisseau La Vigne
 Q = 2,1 l/s
 C = 203 µS/cm
 EAU DOUCE

Mesures méandre amont RN 2002
 C surface = 5 mS/cm (10 % d'eau de mer)
 C fond moy = 23,5 mS/cm (48 % d'eau de mer)

Mesures Canal de dérivation
 C surface moy = 12,5 mS/cm (26 % d'eau de mer)
 C fond moy = 35,5 mS/cm (72 % d'eau de mer)
 C surface = 3,8 mS/cm (8 % d'eau de mer)
 C fond = 41,7 mS/cm (85 % d'eau de mer)

Mesures aval cascade Niagara
 Q = 595 l/s
 C = 94 µS/cm
 EAU DOUCE

Mesures Canal de dérivation aval radier
 C surface = 5 mS/cm (10 % d'eau de mer)
 C fond moy = 23,5 mS/cm (48 % d'eau de mer)

Mesure de débit amont radier
 Q = 880 l/s (uniquement vers canal de dérivation)
 C = 122 µS/cm
 EAU DOUCE

OCEAN INDIEN

En noir : mesures de débit et conductivité le 4 février 2005
 En rouge : mesures de conductivité le 14 février 2005

Source : BD TOPO © Réunion © IGN - Paris - 1997 - Reproduction interdite - Convention n°7709/IGN

VISA		
DATE	Etabli par	Vérifié par
02/2005	LCt	ETu



CINOR / SEMADER

PROTECTION DES LIEUX HABITES CONTRE LES INONDATIONS
 DE LA RIVIERE SAINTE-SUZANNE ET DU RUISSEAU DU FOUTAC

ETUDE COMPLEMENTAIRE

MESURES DE DEBIT ET DE CONDUCTIVITE (4 et 14 février 2005)

Février 2005
4700104
Ech. : 1/7 500
Figure n°02

Les principaux éléments mis en évidence sont les suivants :

- ↪ L'eau est douce en amont du radier de la RN2002. Le débit, même soutenu (880 l/s) ne se répartit pas correctement entre méandre et canal de dérivation ; l'intégralité passe dans le canal de dérivation via les buses Ø600 du radier, laissant l'amont du méandre totalement à sec ;
- ↪ La différence de débit et de conductivité entre l'aval de la cascade Niagara et la RN2002 traduit des apports par drainage de la nappe de l'ordre de 300 l/s pour un linéaire de rivière d'environ 1380 m soit 0,22 l/s/ml ;
- ↪ *Il n'a pas été possible lors de ces mesures de caractériser les apports de la nappe entre la RN2002 et la mer ; cependant, un bilan réalisé en octobre 2000 par l'ORE (aujourd'hui OLE) indiquait des apports de l'ordre de 400 l/s à l'étiage dans cette partie ;*
- ↪ Une influence de l'eau de mer dans le canal de dérivation et le méandre avec :
 - Une stratification marquée ; eau quasiment marine au fond, eau saumâtre en surface ;
 - Cette stratification évolue au cours du temps et dans l'espace :
 - ✓ Stratification plus forte le 14 février que le 4 février ;
 - ✓ Transition eau saumâtre / eau salée marquée dans le canal de dérivation et dans la partie aval du méandre, située environ entre 0,50 et 1 m sous la surface ;
 - ✓ Transition plus continue en partie médiane du méandre ;
 - Une salinité plus marquée sur le méandre, en lien avec les apports d'eau douce moins importants (eau de nappe ou résidu d'eau douce des crues précédentes) ;
 - Une salinité moyenne croissante vers l'aval, avec un mélange eau douce / eau salée à proximité de l'exutoire ;
- ↪ Des apports d'eau douce très faibles du débouché de l'ex-ruisseau la Vigne (2 l/s). la conductivité élevée (pour de l'eau douce) peut traduire la proximité de la mer (contamination par les embruns salés).

Ces mesures sont riches d'enseignement, car les conditions ont permis de mesurer de très fortes conductivités, si l'on se réfère aux mesures précédemment disponibles (max 11 500 µs/cm).

La situation future peut toutefois conduire à des salinités plus fortes dans la rivière pour les raisons suivantes :

- ↪ Ouverture entre digues projetés (50 m au débouché) plus large que l'ouverture du cordon le jour des mesures (20 à 30 m) ;
- ↪ Le débit mesuré en aval de la RN2002 n'est pas un débit caractéristique d'étiage (de l'ordre 100 l/s) ;
- ↪ La houle peut être fréquemment plus importante ; elle peut alors arriver par trains de vagues (séries), entraînant des oscillations du plan d'eau à l'embouchure propices au remplissage et à la vidange des cours d'eau en amont par de l'eau marine ;
- ↪ Le curage du canal de dérivation favorisera la remontée de la houle.

6.3.2.2. EVALUATION DE LA SALINITE FUTURE

En considérant les caractéristiques des aménagements hydrauliques projetés à ce jour, la salinité en amont de l'embouchure va être étroitement liée aux apports d'eau douce et à leur répartition entre méandre et canal de dérivation.

L'étude d'impact (réf. /2/) prévoit que les travaux de curage projetés dans le méandre, notamment sa partie amont, vont permettre de mieux alimenter cette partie de la rivière. Cependant, la pérennité de cette répartition est liée à un entretien fréquent et régulier.

Deux situations peuvent donc être examinées :

- ↳ Une situation « naturelle » avec la totalité du débit d'étiage passant dans le méandre ;
- ↳ Une situation « dégradée » avec la totalité du débit passant dans le canal de dérivation.

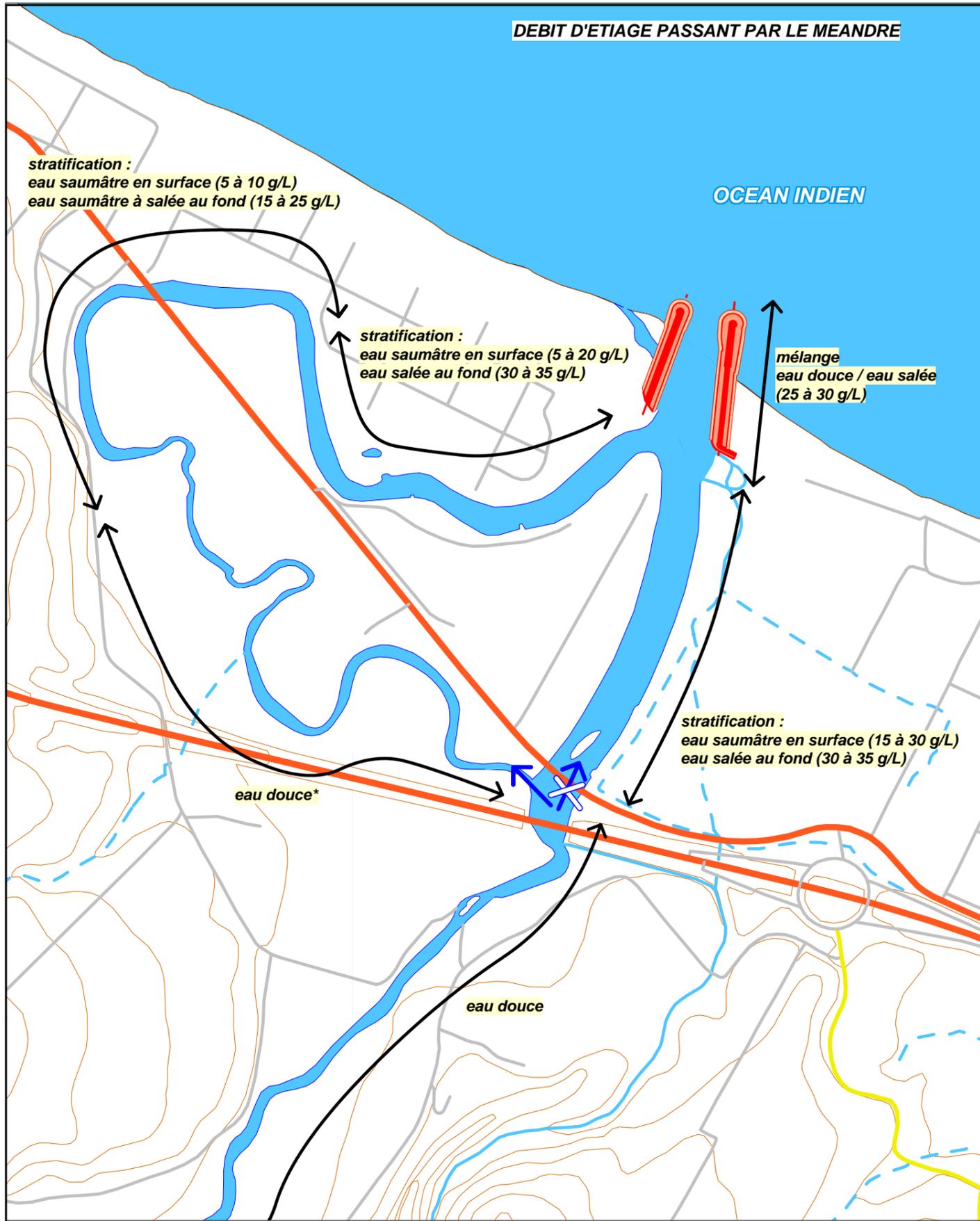
La carte page suivante présente l'évaluation réalisée pour la salinité future, hors conditions particulières, en distinguant ces deux situations.

Pour la préservation du milieu aquatique, ces évaluations rappellent la nécessité de faire transiter le débit d'étiage vers le méandre, partie « naturelle » de la rivière. Dans ce cas, le canal de dérivation, artificiel, deviendrait un milieu saumâtre à salé.

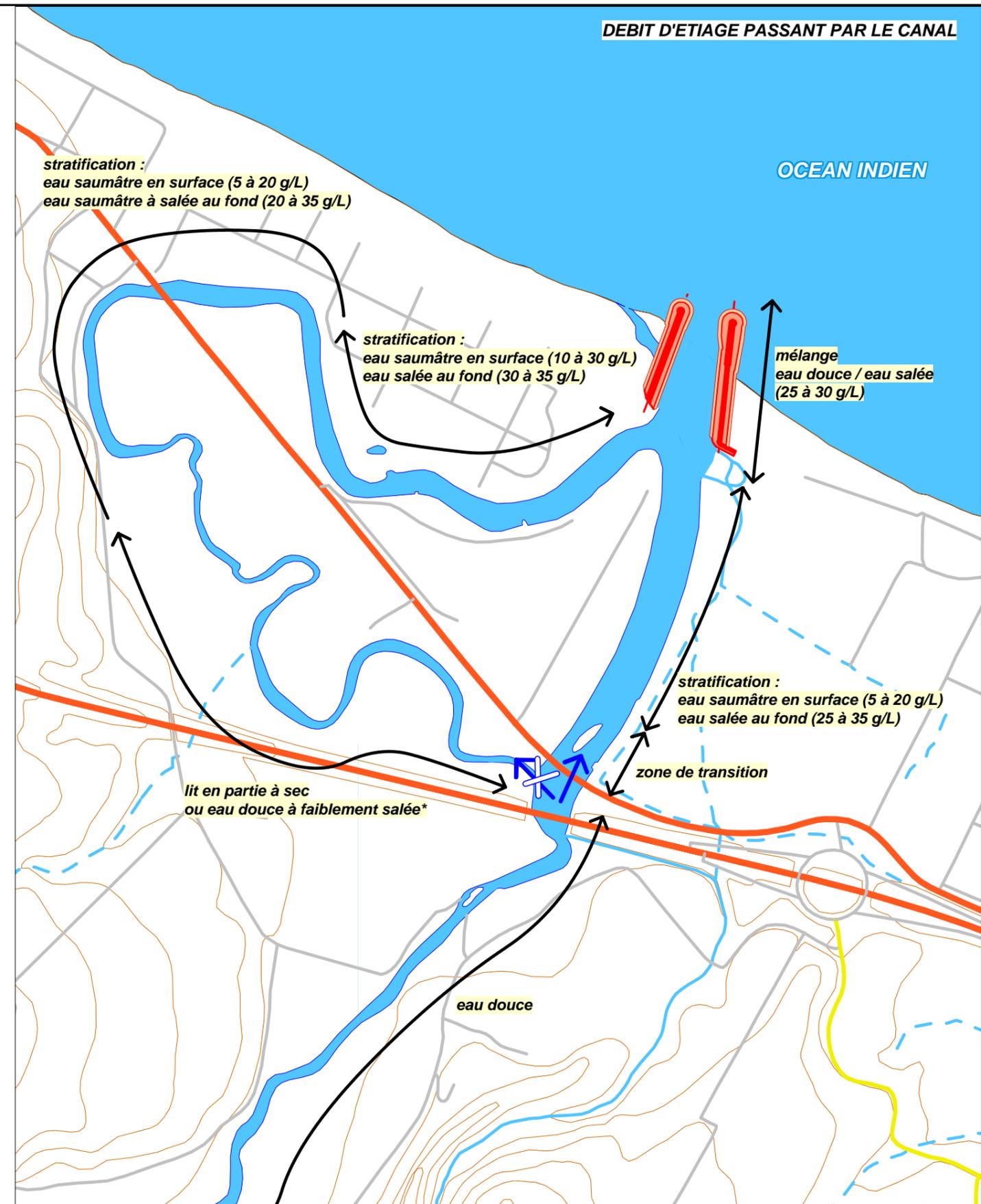
La préservation du méandre des intrusions salées peut être renforcée par la mise en place d'un seuil à l'aval, qui peut être immergé au niveau de la strate salée.

Ces orientations seront à étudier en concertation avec le bureau d'étude retenu pour l'étude d'impact de la salinité sur la végétation existante et future. Il paraît en outre intéressant de relever d'éventuels effets sur la flore de la forte (et a priori inhabituelle) salinité de ce début d'année 2005.

DEBIT D'ETIAGE PASSANT PAR LE MEANDRE



DEBIT D'ETIAGE PASSANT PAR LE CANAL



Source : BD TOPO © Réunion © IGN - Paris - 1997 - Reproduction interdite - Convention n°7709/IGN



*en cas de forte houle survenant à l'étiage, les vagues peuvent remonter le canal de dérivation jusqu'au radier et submerger celui-ci, provoquant un apport d'eau salée vers l'amont du méandre

VISA			CINOR / SEMADER	Février 2005
DATE	Etabli par	Vérifié par		
02/2005	LCt	ETu	PROTECTION DES LIEUX HABITES CONTRE LES INONDATIONS DE LA RIVIERE SAINTE-SUZANNE ET DU RUISSEAU DU FOUTAC	4700104
			ETUDE COMPLEMENTAIRE	Ech. : 1/7 500
			ESTIMATION DE LA SALINITE FUTURE A L'ETIAGE (hors conditions particulières)	Figure n°03

6.4. MESURES D'ACCOMPAGNEMENT

Ces mesures viennent en complément de celles présentées dans le dossier de base. Elles sont listées ci-après :

- ↪ Un choix des techniques de protection de berges adaptées à la houle mais également à la salinité prévisible ;
- ↪ Un soin particulier apporté à la répartition du débit d'étiage entre méandre et canal de dérivation, en proposant des aménagements conduisant le débit d'étiage prioritairement vers le méandre, et de façon la plus pérenne possible ;
- ↪ Des dispositifs de remontée du niveau de l'eau pour les zones humides et éviter les remontées d'eau salée, soit :
 - Un seuil au débouché de l'ex-ruisseau la Vigne ;
 - Un seuil (a priori immergé) à l'aval du méandre (le canal de dérivation restant saumâtre) pour diminuer les remontées de houle et d'eau salée dans cette partie.
- ↪ Et également peut être l'opportunité d'implanter des espèces inféodées aux milieux saumâtres dans le canal de dérivation ou dans la zone de l'embouchure : mangrove par exemple, inexistantes sur l'île, mais présentes dans l'archipel des Mascareignes.

Des compléments pourront être apportés par le bureau d'étude chargé de traiter l'impact de la salinité future sur la végétation existante et future.

Le seuil envisagé à l'aval du méandre ne devra pas avoir d'impact hydraulique significatif pour l'écoulement des crues. Un tel seuil n'est pas envisageable sur le canal de dérivation, car il compromettrait en partie les gains obtenus par l'ensemble des aménagements sur les niveaux de crue.