

**SESSION 2**  
**DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE**  
**ET TRANSPORTS**  
**PARTICULAIRES**

Questions – Discussions

**A. BALTZER** : Identification comparée des sables vacuolaires à terre et en mer

**Question de R. Boutin:**

- Les zones concernées par les sables vacuolaires sont –elle importantes ?

Peut-on expliquer par une origine biologique la création des sables vacuolaires ?

**Réponse :**

- Les zones concernées par les sables vacuolaires restent restreintes à des flèches sableuses ou barres sableuses découvrant à marée basse, dans des conditions précises évoquées dans le résumé. Elles sont donc très locales, et les profondeurs maximum de sédiments affectés par ce processus ne dépassent pas 80 cm (à priori).

La formation de gaz biogénique entraîné par la dégradation de la matière organique enfoui correspond à un autre type de processus. Dans le cas des sables vacuolaires étudiés ici, seul un processus mécanique d'emprisonnement de l'air lors d'une émergence suivie par une immersion rapide peut expliquer leur formation.

**C. BONNOT-COURTOIS** : Mesures in-situ de la sédimentation au front des shorres aux abords du Mont Saint Michel

**Question de R. Boutin:**

- Pour la dynamique décrite, peut-on identifier l'importance relative de la nature des sédiments dans les sites étudiés avec le type de végétation rencontrée ?

**Réponse :**

- La nature des sédiments, i.e. leur valeur granulométrique, dépend du contexte morphodynamique de la frange externe du shorre mais n'est pas différente selon l'espèce végétale rencontrée. L'installation de la végétation s'effectue à partir du moment où un certain niveau altimétrique est atteint par exhaussement des fonds que le sédiment soit vaseux ou sableux. Les espèces végétales se relaient dans l'espace et dans le temps, en fonction de leur tolérance à la submersion et donc suivant les différents niveaux de marée. Il y a un étagement de la végétation depuis le haut shorre jusqu'au bas shorre qui n'est pas directement lié à la granulométrie du substrat.

**P. BRETEL**: Quantification théorique des transports éoliens en milieu littoral à court terme

**Question de R. Pedreros:**

- Comportement des formules de transport de Bagnold et Kawamura pour des valeurs de  $u^*$  élevées.

**Réponse :**

En effet, il est possible que la validité de la formule de Kawamura soit moins bonne pour des vitesses de cisaillement élevées. Cependant, l'objet de la présentation n'était pas tant de vérifier la validité des formules de Bagnold et de Kawamura, mais bien plutôt d'insister sur la nécessité de réaliser les calculs de transport à des pas de temps courts et d'éviter de moyenner les vitesses sur des périodes de plusieurs minutes. L'intégration dans le temps n'est pas adaptée à l'étude de phénomènes instables en milieu turbulent. De plus, il est important de retenir que le choix d'une formule de transport, pour une adaptation à des conditions naturelles, ne peut être dissocié du mode de détermination de  $U^*$ .

**B. CAMENEN**, Un modèle morphodynamique côtier pour la création de barres rythmiques

**Question de S. Grilli:**

- Vous nous avez dit que l'asymétrie de la houle est le paramètre important pour déterminer la direction du transport sédimentaire. Ma question concerne l'origine de ce paramètre dans votre étude. Comment l'avez-vous calculé ?

**Réponse :**

- Ce coefficient d'asymétrie est calculé selon l'équation empirique proposée par Dibajnia et al (2001) obtenues à partir d'un ensemble de données de terrain.

**Question de A. Temperville:**

- Dans l'étude de l'estimation de la position de la barre et du rapport des débits onshore, offshore, avez vous estimé l'influence des diamètres ?

**Réponse :**

- L'effet du diamètre des sédiments a en effet été testé, en particulier pour les sédiments fins où le phénomène de retard de phase des sédiments peut apparaître. Le seul effet observé est une diminution de la vitesse de croissance. La position de la barre est quasi inchangée.

**F. DESMAZES :** Etude morphodynamique du domaine pre-littoral nord aquitain, site atelier du truc-vert

**Question de J.P. Barusseau:**

- Il est intéressant de faire apparaître des déplacements sédimentaires sur les fonds de 10 à 30 m. Mais je suis surpris de l'ampleur des volumes déplacés mis en évidence. Quelles sont les marges d'erreur associées à ces valeurs ?

**Réponse :**

- Nous avons considéré que les variations de bathymétrie inférieures à 30 cm n'étaient pas forcément significatives. Les calculs de volume prennent en compte ces marges d'erreur.

**Question de S. Grilli:**

- Vous montrez que les mouvements sédimentaires des plages sous-marines inférieures et supérieures dépendent fortement des régimes de houle. Il me semble qu'il serait important d'avoir des mesures de houle en temps réel afin de mieux comprendre votre zone d'étude et d'en déduire des principes plus généraux.

**Réponse :**

- Nous venons d'installer une bouée Triaxys, au large de la zone d'étude, qui nous donnera en temps réel le régime de houle.

**D. IDIER :** Modélisation numérique de formes de fond périodiques en domaine peu profond

**Question de R. Boutin:**

- Vous évoquez des simulations numériques sur des périodes de plus de 8000 ans et indiquez que les résultats obtenus sont cohérents avec des données de terrain. Par ailleurs, il est précisé que certaines dunes peuvent migrer de plus de 150 m par an. La pertinence d'un calcul sur 8000 ans me paraît bien hasardeuse.

Pouvez-vous préciser ce qui permet de conclure en la robustesse du modèle (variabilité des données d'entrée sur 8000 ans, qualité et nombre des données de terrain sur 8000 ans) ?

**Réponse :**

- Tout d'abord, cette étude sur les bancs est à voir comme une étape vers la modélisation des dunes. Aussi, si les dunes peuvent être extrêmement mobiles, les bancs le sont beaucoup moins. Ensuite, les simulations numériques n'ont pas été effectuées sur 8000 ans mais ont permis de déterminer les coefficients d'une équation dite de Landau, qui a été par ailleurs utilisée dans d'autres problèmes (les dunes par exemple [1]), et qui permet de calculer l'évolution temporelle de l'amplitude des bancs dans notre cas.

Ici, nous ne prétendons pas simuler l'évolution complète des bancs dans toute leur complexité. Nous avons simplement utilisé cette équation de Landau et constaté que, sans ajuster aucun paramètre, le temps de formation des bancs obtenu était de 8000 ans. Par ailleurs, diverses publications, basées sur les variations du niveau marin en Mer du Nord et des analyses sédimentaires [2,3,4,5], font état d'un âge des bancs estimé à 7800-8300 ans. Il est bien évident qu'il est difficile de valider quantitativement les résultats du modèle, puisque sur le terrain, il n'y pas de bancs soumis à des courants régionaux uniformes et qu'en terme de mesures bathymétriques précises, nous n'avons évidemment pas accès aux variations sur 8000 ans.

[1] Scholl O., Estimating amplitude evolution of sandwaves. Rapport CM2 1999 027, University of Twente, 1999.

[2] Jelgersma S., Sea-level changes in the North Sea basin. In *The quaternary history of the North Sea* Oele, E., Schuttehelm, R.T.E., and A.J. Wigers (Ed.), Acta Univ Upps, Uppsala, 233-248, 1979.

[3] Veenstra H.J., Gravels of the Southern North Sea, *Marine Geology*, vol. 7, 449-464, 1969.

[4] Houbolt J.J.H.C., Recent sediments in the southern bight of the North Sea, *Geology en Mijnbouw*, vol. 47, 245-273, 1968.

[5] Spaik G., Analyse Noordzeeboring N, gelegen opde West Hinder Bank, Intern rapport 136-afd, Macropaleontologie, Geologische Dienst, Harrem, 1963.

**Question de L. Hamm:**

- Comment se situent vos travaux par rapport à ceux de S. Hulscher, pionnière de ce sujet en Europe ? Y-a-t-il collaboration entre vous ?

**Réponse :**

- Oui, sur certains points, nous travaillons en collaboration. En fait, Suzanne Hulscher a été la pionnière en terme d'analyses de stabilité linéaire des dunes et bancs de sable. Notre travail porte sur la modélisation numérique, même si, pour les besoins de validation du modèle en terme de génération, nous avons dû réaliser nous-même une analyse de stabilité linéaire. En effet, au départ nous pensions utiliser les résultats d'une analyse faite par C. Fluit et S. Hulscher, mais après discussion avec S. Hulscher, il s'est avéré que le terme de frottement de leur modèle mathématique était linéaire en vitesse, contrairement à celui du modèle numérique (Telemac 2D) qui est quadratique. Afin de comparer des choses comparables, nous avons donc refait l'analyse de stabilité. En outre, nous collaborons sur l'étude de la génération des dunes. Le laboratoire de Twente (A. Németh et S. Hulscher) apporte son analyse de stabilité linéaire (modèle 3D), et réalise des tests sur la génération des dunes avec un modèle numérique semi-spectral, tandis que nous réalisons les même tests avec un modèle numérique basé sur les modules Telemac3d et Sisyphe de la chaîne Telemac.

**Question de S. Abadie:**

- Quel est le modèle 3D que vous comptez utiliser à terme ?

**Réponse :**

- Je compte utiliser le logiciel Telemac3D (équations de Navier-Stokes) pour l'hydrodynamique, avec un modèle de longueur de mélange sur la verticale et un modèle viscosité constante sur l'horizontale. Dans un premier temps, la version utilisée est hydrostatique. En effet, d'après les analyses de stabilité linéaire, elle devrait être suffisante pour la génération des dunes. Les premiers tests montrent d'ailleurs que l'on arrive à générer des dunes avec un tel modèle. Ensuite, à amplitude finie, le problème d'une répartition non-hydrostatique pourrait se poser, et il faudra alors utiliser une version non-hydrostatique.

**N. GARCIA :** Analyse de l'impact de la digue d'agrandissement du port du Musel

**Question de F. Pons:**

- Quel est l'impact de la baisse et de la modification des vitesses dues à la digue sur la qualité des eaux de baignade?

**Réponse :**

- Il n'y a aucun problème de ce type sur le site, il n'y a aucun rejet réalisé à proximité de la zone de San Lorenzo. Aucune détérioration de la qualité des eaux de baignade n'est à prévoir du fait de la réduction des vitesses et de la modification du schéma circulatoire postérieurement à la construction de la digue.

**Question de S. Abadie:**

- Avez-vous rencontré des problèmes numériques avec le code de propagation de la houle au voisinage des ouvrages?

**Réponse :**

- Effectivement, dans certaines zones de la maille d'étude où se situent des digues ou des falaises à de grandes profondeurs, on peut rencontrer des problèmes numériques, en particulier pour la propagation des composantes de faible fréquence du spectre de houle.

La conjonction de profondeurs importantes avec des périodes importantes génère des valeurs excessivement élevées pour certains paramètres (comme la longueur d'onde ou la célérité) qui peuvent poser problèmes. Par ailleurs l'hypothèse de faible variation de la pente, qui est l'une des hypothèses sur laquelle se fonde le modèle, peut ne pas être vérifiée.

Une solution consiste à « adoucir » la bathymétrie autour des éléments qui peuvent poser problème, « adoucir » la pente du talus de la structure par exemple, c'est-à-dire associer à chaque nœud de la maille d'étude une profondeur maximum.

Une autre solution consiste à considérer une maille d'étude suffisamment lâche.

**Question de J. Bougis:**

- Vous utilisez un logiciel fondé sur les équations de Berkhoff parabolisé et vous présentez des plans de diffraction qui ont tourné de plus de 45° à 50°. La parabolisation est-elle faite en axes curvilignes ou cartésiens ?

**Réponse :**

- La parabolisation a été faite en axes cartésiens.

OLUCA-SP utilise effectivement l'approximation parabolique des équations de Berkhoff telle qu'elle a été développée par Booij (1981) permettant la propagation d'ondes dans un intervalle de +/- 50° autour de la direction principale. Mais le modèle utilise également la méthode « minimax » de Kirby (1986) qui consiste en l'utilisation d'une approximation de Padé (1,1) et qui permet de considérer des angles s'écartant de plus de 50° par rapport à la direction principale de propagation.

**Question de V. Rosales:**

- Est-ce que la nouvelle configuration représente un problème sur la zone de recul de la plage ouest qui mérite une protection ?

**Réponse :**

- Non, on dispose d'une grande plage sèche sur cette zone.

**F. PONS : Morphodynamique des dunes sous l'effet du vent**

**Question de R. Pedreros:**

1- Calcul du terme A intervenant dans la formule de  $U_{*t}$

2- Calage des formules de transport : Bagnold ....

**Réponse :**

- a. Le calcul du terme A se fait avec les données de la littérature, sa valeur est aux alentours de 0.1
- b. Dans ce travail, aucun calage sur les formules de transport n'a été effectué. Elles présentent de fortes différences pour les mêmes paramètres de taille de sédiments mais sont presque toutes fonctions de la vitesse de cisaillement au

cube. Une nouvelle formule que vous avez élaborée conduit à trouver le transport de sédiments fonction de la vitesse de cisaillement au carré.

Ce travail cherche plus à connaître les zones de dépôts et d'érosion en fonction du point de décollement sur un profil de dune. Le comportement qualitatif sera ensuite le même avec des formules de transports différentes.

**Question C.Kharif:**

- Quel type de modèle de fermeture de la turbulence comptez-vous utiliser dans l'avenir ? (sachant que le modèle longueur de fermeture sous-estime les zones de recirculation à l'aval de la dune)

**Réponse :**

- Pour le moment, nous allons chercher à faire converger le modèle de vent et à coupler avec un modèle de transport sans provoquer de perturbations numériques. Ensuite, nous envisagerons d'améliorer le modèle de vent pour mieux définir les zones de décollement et de raccrochement des lignes de courant qui permettent de préciser les zones de dépôts et d'érosion sur une dune.

**Question de H. Branger:**

- 1- Qu'appellez-vous rugosité de la couche en mouvement ?
- 2- Quelle est l'influence de la rugosité sur la morphodynamique ?

**Réponse :**

1 Le sable se déplace en saltation sur une hauteur de quelques centimètres et cette couche en mouvement crée une rugosité supplémentaire sur le profil de vent.

2 Une augmentation de rugosité entraîne une baisse de la vitesse de vent au niveau du sol et donc une baisse de la vitesse de cisaillement sur les grains de sable. Prenons l'exemple de la végétation, elle présente une plus forte rugosité que le sable, la vitesse du vent diminue près du sol, la vitesse de cisaillement appliquée aux sédiments diminue donc cette zone représente une zone de dépôts.

**Question de V. Rosales :**

- Qu'est-ce que la viscosité numérique ?

**Réponse :**

- Une sorte de méthode pour éviter que le modèle longueur de mélange explose pendant les simulations.

**M. SANCHEZ:** Mesure de la vitesse de chute des sédiments fins en laboratoire et in situ

**Question de R.S. Jacinto:**

- Ne pensez-vous pas que le nombre d'incertitudes de nos modèles peuvent amener à n'importe quel processus, estimé de manière inverse, des résultats étonnants ?

Je pense à la diffusion horizontale souvent trop élevée : si on la diminue on aurait par inversion une vitesse de chute plus petite. La mauvaise prise en compte des forçages (houle) peut induire le même résultat.

**Réponse :**

- Nos mesures de la vitesse de chute moyenne en écoulement turbulent reflètent le comportement réel des sédiments en suspension in situ et n'ont rien à voir avec la diffusion horizontale ou avec la houle qui était complètement inexistante lors de notre campagne de mesures.

Si dans vos modèles (2DV ou 3D bien sûr) vous utilisez des vitesses de chute médianes mesurées en eau calme vous ne serez pas en mesure de reproduire simultanément les aspects suivants :

- le taux d'envasement résiduel d'un estuaire (un tiers des apports du fleuve en Loire),

- la présence d'un stock de vase mobile important donnant lieu à la crème de vase en mortes eaux et au bouchon vaseux en vives eaux (en Loire ce stock représente en moyenne 8 mois d'apports fluviaux de matières en suspension),
- la localisation des zones de turbidité maximale dans un estuaire (celle-ci dépend fortement de l'hydrodynamique résiduelle qui peut être modélisée correctement par pratiquement tous les modèles 1D ou 2D).

**Question de R. Bonnefille:**

- Je signale que lorsqu'on étudiait les mêmes phénomènes au LNH à propos de l'estuaire de la Gironde, nous avons dû multiplier par plus de 10 la vitesse de chute des sédiments mesurée en eau calme pour retrouver les répartitions verticales de turbidité observées sur la verticale.

**Réponse :**

- Je suis d'accord avec vous sur ce point.

Si on utilise des vitesses mesurées en eau calme pour décrire la dynamique sédimentaire d'un estuaire, la chute des sédiments simulée est trop lente et la crème de vase ne peut pas se former. De plus la stratification des matières en suspension est pratiquement inexistante ce qui a comme conséquence de produire une expulsion vers la mer des matières en suspension trop importante par rapport à la réalité.

**Question de M. Temperville:**

- Vous trouvez pour des faibles concentrations des vitesses de chute nettement supérieures aux vitesses traditionnelles. Pourtant les modèles morphodynamiques à l'heure actuelle reproduisent correctement les résultats nature. Une telle modification de la vitesse de chute peut remettre en cause ces résultats. Qu'en pensez-vous ?

**Réponse :**

- La vitesse de chute des sédiments est un paramètre influençant principalement la stratification des matières en suspension. Cette stratification confère un caractère tridimensionnel aux problèmes morphodynamiques. Or, à l'heure actuelle la plupart des modèles qui donnent satisfaction sont bidimensionnels dans le plan (2DH). Ces modèles ne tiennent compte de la stratification que d'une façon très schématique mais malgré cela ils reproduisent convenablement la localisation des zones de turbidité maximale dans un estuaire car celle-ci dépend fortement de l'hydrodynamique qui est modélisée correctement par ces modèles.

Une meilleure connaissance de la vitesse de chute des sédiments fins en écoulement turbulent grâce à l'utilisation de la méthode que nous préconisons doit contribuer à la mise en place des modèles morphodynamiques tridimensionnels capables de reproduire la localisation de la zone de turbidité maximale dans les estuaires mais aussi le piégeage des vases observé dans ces sites.

**Question de V. Rosales :**

- Est-ce que vous avez mesuré 1/3 de sédiments sortant de l'estuaire ? Est-ce que vous avez une loi générale pour la vitesse de chute et la floculation des sédiments ?

**Réponse :**

- 1/3 des sédiments est une valeur trouvée dans la littérature.

Il y a des valeurs de vitesse de chute pour les sédiments fins mais il en manque pour les sédiments pas fins. En ce qui concerne la floculation elle est importante en conditions d'eaux calmes.

**P. SERGENT**, Evaluation du dépôt du clapage du Kannick

**Question de R. Boutin:**

- Les matériaux rejetés du Kannick sont composés d'une fraction de 30 à 35% de sédiments fins. Ces matériaux sont-ils pris en compte dans la modélisation ? Sinon que dire de cette limitation ?

**Réponse :**

- Une série d'essais du CEA a mis en évidence que la fraction des sédiments fins disparaissait très rapidement de la zone du dépôt. La modélisation, qui concerne l'évolution à moyen terme, c'est-à-dire sur quatre mois, du dépôt, a donc pris en compte exclusivement la fraction sableuse du rejet.

**Question de J.B. Kovarik:**

- Les matériaux clapés au Kannick ont deux origines : le banc d'embouchure et la brèche. Les granulométries de la fraction sableuse sont assez différentes selon le lieu de prélèvement du sédiment. Le modèle permet-il de prendre en compte un matériau sableux hétérogène, ou d'évaluer la sensibilité des résultats à la granulométrie considérée (80  $\mu$  d'un côté et 150 à 200  $\mu$  de l'autre) ?

**Réponse :**

- Le modèle, dans son état, ne permet pas de prendre en compte une granulométrie étendue de matériaux. La granulométrie des matériaux des essais allait de 100  $\mu\text{m}$  à 300  $\mu\text{m}$ . Une granulométrie médiane de 200  $\mu\text{m}$  a été adoptée pour les calculs.

**Question de F. Saint-Cast:**

- Pourquoi une formulation conservant le volume de matériaux pose-elle un problème en cas de zone non-érodable ?

**Réponse :**

- La formulation pour une zone non-érodable, adoptée ici, consiste à annuler le débit de transport solide lorsque l'on se trouve en situation d'érosion d'un fond non-érodable. Cette formulation est très approximative et sous-estime le transport. La limite du dépôt, dans notre simulation, n'ayant pas atteint les limites du domaine, le débit de transport solide est nul aux frontières du domaine, ce qui entraîne la conservation du volume de matériaux. Ce résultat est à comparer avec les mesures du CEA, détectant le départ d'une partie importante des matériaux.

**J.M. TANGUY :** Modélisation morphodynamique des fonds autour des brise-lames

**Question de Farnole:**

- Influence du brise-lame sur les érosions à proximité de l'ouvrage. Risque de déstabilisation du brise-lame.

**Réponse :**

- Le système de modélisation met en évidence une érosion aux alentours des extrémités du brise-lames, ce qui peut effectivement conduire à sa déstabilisation. Les deux endroits délicats sont ces extrémités mais également dans le cas d'un ouvrage réfléchissant, la face externe de l'ouvrage (côté mer).

**Question de L. Hamm:**

- Le modèle physique étant un modèle distordu utilisant un matériau mobile allégé, il paraît difficile de ramener les mesures de labo à des grandeurs nature du fait du non-respect de certaines règles de similitude. Pourquoi ne pas avoir procédé à une simulation numérique des conditions du modèle lui-même au lieu d'utiliser une transposition nature difficile à justifier scientifiquement ?

N'est-il pas plus simple de valider sur des mesures en nature directement ?

**Réponse :**



- Nous avons effectivement conduit une simulation sur la transposition nature pour la simple raison que les volumes de sable déposés à l'arrière de l'ouvrage sont donnés en grandeur nature. Cependant, nous avons réglé la houle sur l'échelle modèle.

**Question de Briand:**

-Votre modélisation montre des érosions autour des musoirs, quand est-il au droit de l'ouvrage ? Quelle est l'influence du coefficient de réflexion de l'ouvrage ?

**Réponse :**

- Le coefficient de réflexion du brise-lames a un impact important sur les évolutions morphodynamiques. Il contribue à augmenter l'agitation côté mur donc à mettre en suspension des sédiments qui seront ensuite transportés par les courants. La profondeur et le volume obtenus par la modélisation n'ont pas été mesurés sur le modèle physique, ce qui a empêché la comparaison avec les résultats des modèles numériques.