

Bulletin des Bureaux d'Etudes Industrielles (BEI) Année scolaire 2012-2013

Département Hydraulique - Mécanique des Fluides
ENSEEIH/INPT



Energies Renouvelables et Environnement

Energétique et Procédés



Présentation générale du BEI

Le Bureau d'Etudes Industrielles est un projet réalisé au sein même de l'école par les élèves avant d'effectuer leur stage de fin d'études. Il leur permet de mobiliser potentiellement l'ensemble des savoir-faire acquis au cours de leurs trois années d'études à l'école et sa nature pré-professionnelle prélude à leur stage en entreprise. Les projets peuvent être de tailles et d'objectifs variables (entre deux et huit étudiants), mais ils ont tous en commun de permettre à l'élève de se trouver en situation de travailler en équipe et de répondre à un cahier des charges issu du monde de l'industrie ou des questions environnementales. Pour les industriels qui participent aux BEI, ou simplement proposent des sujets, c'est l'opportunité à la fois de mieux se faire connaître des élèves qui sont sur le point d'entrer sur le marché du travail, et d'engager un dialogue avec les équipes enseignantes du département sur nos domaines d'expertise.

Wladimir BERGEZ, Directeur du Département Hydraulique - Mécanique des Fluides

BEI Energies Renouvelables et Environnement (BEI ERE)**Objectifs :**

Le BEI ERE est un enseignement commun aux options Sciences de l'Eau et Environnement (SEE) et Mécanique des Fluides Numérique (MFN) de l'ENSEEIH, à l'Option Génie de l'Environnement (GE) de l'INP et au Mastère Spécialisé Hydraulique de l'ENSEEIH. L'objectif pratique du BEI ERE est la définition et la réalisation d'un projet de type industriel en groupe.

Contenu/Programme :

Le BEI ERE se décompose en trois phases :

- Préparation : Les groupes d'étudiants (6 à 8) se constituent autour d'un projet défini en commun, à partir de propositions émanant de partenaires externes (entreprises, collectivités locales, laboratoires,...), des participants, des enseignants. Chaque groupe est constitué de binômes dont les projets s'articulent au sein du projet de groupe. Ils définissent objectifs et méthodes.
- Réalisation des projets (début février/mi-mars) : Chaque groupe réalise le travail prévu en s'appuyant sur le concours d'experts, enseignants ou intervenants extérieurs, chargés d'apporter un conseil scientifique et technique.
- Restitution. Cette phase comprend d'une part la rédaction de compte-rendus multi-médias, qui synthétisent les travaux réalisés et d'autre part une présentation orale devant un public élargi.

Enseignants : *D.Astruc, Ph.Behra, G.Debenest, S.Jean, P.-Y.Pontalier, A.Stoukov*

Contact : *Dominique.Astruc@imft.fr*

BEI Energétique et Procédés (BEI EP)**Objectifs :**

Travail sur un problème appliqué provenant du monde industriel. Les sujets sont proposés par nos partenaires industriels et couvrent un très vaste champ d'applications en énergétique et procédés : aérodynamique, domaine spatial, domaine pétrolier, génie des procédés, transformation de l'énergie.

Mise en application des connaissances acquises durant la formation sur un problème concret. Apprentissage en général d'un code de calcul industriel pour répondre à l'étude et/ou développement de petit algorithmes (Matlab, Fortran) permettant de résoudre la modélisation appropriée pour l'étude.

Travail en équipe de 2 ou 3 étudiants sous la responsabilité d'un tuteur pédagogique.

Contenu/Programme

- Analyse du sujet et définition des objectifs et du cahier des charges en partenariat avec l'industriel
- Etude de la compréhension locale de la physique impliquée dans le problème. L'objectif est en général soit une description fine de phénomènes locaux ou soit un dimensionnement global d'un système avec bien souvent une interaction forte entre les deux. La progression du travail est laissée à l'initiative des élèves qui s'appuient sur les enseignants permanents ainsi que sur les contacts avec les industriels.
- Présentation intermédiaire à mi-parcours faisant état de l'avancement du travail.
- Rédaction d'un rapport sous forme d'un site web et soutenance finale devant un jury avec les industriels invités.

Enseignants : *M.Alliet Gaubert, A.-M.Billet, M.Braza, E.Climent, C.Colin, Y.Le-Gac D.Legendre, H.Neau, O.Simonin*

Contact : *Dominique.Legendre@imft.fr*

Etude et aménagement d'une zone portuaire

*Isabelle Soleilhavoup - Alice Vallot - Matthieu Decuypere - Tian Chen
Emeline Perret - Fabien Riou - Nicolas Lorrain*

Actuellement dans les ports de plaisance français, la demande de places à flot peut parfois prendre plusieurs années avant d'être satisfaite. L'attrait touristique du port est donc freiné par l'impossibilité d'accueillir plus de bateaux. C'est pour cette raison que de nombreux projets d'extension de port sont à l'étude : accroître la capacité d'accueil pour permettre un développement économique plus efficace.

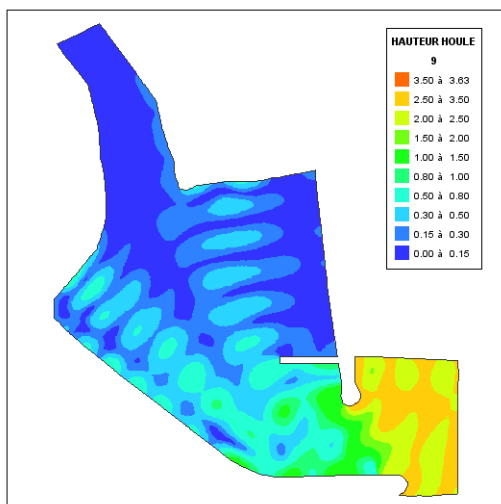


Dans le cadre de notre BEI ERE, notre groupe a décidé de s'orienter vers l'étude d'une extension portuaire. Notre but est de comprendre les différents phénomènes pouvant influencer sur les choix d'aménagement lors d'une telle extension portuaire. Pour répondre à notre problématique, trois axes sont étudiés :

- Analyse de la modification de la géométrie de l'avant-port et dimensionnement de digues
- Etude de la qualité de l'eau dans l'arrière-port et courantologie
- Etude du transport sédimentaire dans l'avant-port sous différentes géométries

La situation choisie a été celle du port de Carnon, dans l'Hérault, qui possède une caractéristique singulière. En effet, le port est connecté à l'étang de l'Or situé à une dizaine de km à l'intérieur des terres et constitue donc un lien entre la mer et l'étang. Bien qu'aucun projet d'extension n'est officiellement annoncé, l'idée d'extension a été soulevée lors de conseil d'administration. Notre projet pourra fournir une vision extérieure à ce projet d'extension. L'idée soulevée est de modifier l'avant-port afin d'y créer environ 100 places.

La détermination de différentes géométries s'est faite via l'utilisation de la suite Telemac 2D. Cette détermination est effectuée via un critère d'agitation de houle à l'intérieur de l'avant-port. Plusieurs géométries ont été jugées plausibles de par l'agitation de houle et de par les limites administratives du port. L'arrière-port de Carnon est soumis à d'importantes problématiques liées au développement de pollution aquatique. Une étude de transport de ces polluants est effectuée ainsi qu'un bilan sur les débits entrants/sortants dans le grau suivant différentes conditions météorologiques. Le bilan des débits donne une évaluation du débit se déversant dans l'avant-port. L'étude hydrosédimentaire donne permet de valider la ou les nouvelles géométries de l'avant-port suivant des critères sédimentaires. Le couplage Telemac2d-Sysiphe a permis d'obtenir une évaluation de la quantité de sédiment déposé dans le port.



Finalement, cette étude permet d'obtenir une vision globale d'une étude d'un aménagement portuaire ainsi que les différentes interactions existantes entre chaque domaine. Ce projet a pu nous familiariser avec des compétences liées à la géotechnique, la météorologie et bien sûr à l'hydrodynamique littorale et côtière.

Hauteur de houle dans l'avant-port de Carnon

Étude environnementale d'une usine de dessalement

Sophie BAQUEY - Aurore BUENO - Vincent GARNERONE

Jérôme LE STER - Antoine MARTY - Caroline SY - Kévin VILLENEUVE

L'essor démographique et le manque de ressources naturelles en eau font de la Vendée une région soumise régulièrement au stress hydrique. Ce phénomène est aggravé en période estivale, avec l'affluence importante de touristes. Le syndicat Vendée Eau, le service public de distribution d'eau en Vendée, cherche des solutions durables à ce problème. L'implantation d'une usine de dessalement d'eau de mer à l'horizon 2020 apparaît comme étant l'une des solutions envisageables. Cependant, l'implantation d'une telle usine n'est pas sans impact sur l'environnement, c'est pourquoi nous avons décidé dans le cadre du BEI de réaliser l'étude environnementale de l'éventuelle implantation d'une usine de dessalement d'eau de mer en Vendée.

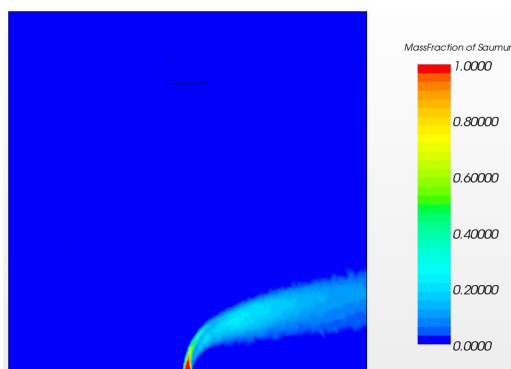


L'objectif principal de notre projet est de proposer des solutions pour réduire l'impact environnemental d'une usine de dessalement. Pour cela, nous avons réalisé une étude de faisabilité de l'implantation de l'usine, puis nous avons dimensionné cette usine qui utiliserait le procédé d'osmose inverse et produirait $40\,000\text{ m}^3/j$. Ainsi, notre objectif principal se déclinera en trois sous-objectifs :

- Identifier les différents impacts environnementaux d'une usine de dessalement.
- Proposer des alternatives énergétiques en étudiant le potentiel des énergies renouvelables in situ.
- Étudier le devenir des rejets ainsi que leurs procédés de traitements et de valorisation.

L'usine de dessalement engendre des impacts sur l'emprise du sol, le milieu naturel, les activités humaines, le paysage... Son implantation provoque des nuisances sonores et visuelles gênantes pour le voisinage de l'usine. L'utilisation du procédé d'osmose inverse génère des émissions atmosphériques importantes. Le milieu marin est lui aussi affecté par le pompage d'eau de mer et le rejet d'effluents concentrés en saumure. Ces impacts sont étudiés dans notre projet et après leur analyse, nous proposons des mesures pour éviter, réduire ou compenser ces effets, par exemple : mise en place d'écrans acoustiques, de haies multistratifiées pour lutter contre le bruit, la pollution et intégrer l'usine au paysage. Les coûts des mesures proposées sont également estimés dans cette étude.

Etant donné la forte consommation énergétique de ce type d'usine allant jusqu'à 5 kWh/m^3 d'eau produite, il semble judicieux de s'intéresser à la diminution des impacts liés à cette consommation. Pour cela, une évaluation des ressources renouvelables disponibles a été effectuée (solaire, houle, éolien terrestre et offshore, courants). Parmi celles-ci seuls les courants marins sont insuffisants pour subvenir aux besoins de l'usine. Suite à cela, un dimensionnement a été réalisé ainsi que l'élaboration de plusieurs scénarii couplant différentes technologies (photovoltaïque, éoliennes terrestres et offshore et pelamis). Le scénario le plus rentable d'un point de vue économique est celui couplant photovoltaïque, pelamis et éoliennes terrestres.



Les rejets des usines de dessalement sont fortement concentrés en sels et peuvent contenir des Elements Traces Metalliques. La mise en place de matériaux tels que l'austénitiques ou la ferritiques permet de s'affranchir de la corrosion et donc d'une partie des ETMs. La simulation du rejet en mer montre que les concentrats peuvent être dilués facilement moyennant des courants marins suffisants. Néanmoins, pour éviter les rejets en mer, la mise en place de marais salants a été étudiée. Pour faciliter la cristallisation des sels, l'Osmose Inverse a été couplée avec un procédé de distillation membranaire sous vide lui-même couplé à l'énergie solaire. Ceci permet également d'augmenter le rendement du dessalement de 50 à 89 % diminuant, de ce fait, la consommation énergétique de l'installation.

Etude et gestion des ressources en eau de la Haute Vallée du Sègre

*Céline BELLEVILLE - Amandine BRUGEROLLES - Laurie CAILLOUET -
Julie CHEVREAU - Nathalie FERRY - Pauline GRACIA - Jun WANG*

Les communes de Err, Estavar, Llo et Saillagouse, situées dans les Pyrénées Orientales à la frontière Espagnole, traitent actuellement leurs eaux usées à Puigcerda, en Espagne. La situation géographique particulière de ces communes, situées en haute montagne, attire de nombreux touristes, particulièrement en été, cette forte affluence touristique entraîne des variations de charges hydraulique et organique importantes. C'est dans ce contexte que l'Espagne ne souhaite plus traiter les eaux rejetées par ces communes. La Régie de la Haute Vallée du Sègre cherche donc à prendre son indépendance en terme de traitement des eaux usées. Le projet d'une nouvelle station d'épuration (STEP) devrait voir le jour en 2015.



Source : www.vacances-location.net

Trois emplacements sont disponibles pour l'implantation de cette nouvelle STEP, le terrain inondable d'une STEP désaffectée, un terrain agricole et enfin un terrain constructible. Le fil conducteur de notre projet réside donc dans l'étude de l'implantation de cette STEP. En effet, d'une part une étude d'inondabilité et une modélisation du réseau d'assainissement pour les différents emplacements ont été réalisées. D'autre part le dimensionnement de la filière de traitement des eaux ainsi qu'une étude d'impact de la STEP ont été menées.

Afin de mieux comprendre l'environnement dans lequel la station d'épuration va être implantée, une caractérisation du sous bassin versant et une étude d'inondabilité ont été effectuées. La STEP est située près de trois cours d'eau, dans un environnement avec des altitudes variant de 900m à 2900m. La plus grosse partie de ce projet nous a mené à traiter les quelques données que nous avons et les extrapoler aux différents cours d'eau. Après avoir caractérisé les débits de référence par des méthodes statistiques, une étude d'inondabilité a montré que les trois zones retenues étaient toutes inondables.

En ce qui concerne le réseau d'assainissement, notre but a été de trouver le tracé idéal pour les canalisations reliant les 4 communes à la station grâce au logiciel Autocad et de les dimensionner à l'aide de modélisations numériques sous Canoe. Nous avons alors étudié et comparé les différents emplacements. Nous avons pris en compte dans nos simulations la croissance de population sédentaire d'ici 2030 ainsi que sa hausse en été. D'autre part, malgré la présence d'un réseau séparatif, les eaux parasites sont responsables de la moitié des débits d'eaux usées relevés : nous avons aussi étudié l'âge des canalisations. En effet, le rendement du réseau des eaux usées est d'environ 20%. Remplacer certaines canalisations permettrait d'augmenter l'efficacité du réseau.

Concernant la STEP en elle-même, le traitement par boues activées a été retenu pour sa simplicité de réalisation et sa très grande utilisation. La zone étudiée étant sensible à l'eutrophisation des normes de rejet en terme d'azote sont imposées par la législation, c'est pourquoi une zone d'anoxie a été placée en tête de traitement pour éliminer les nitrates. Le dimensionnement de la STEP est réalisé en tenant compte de l'évolution de la population et des conditions de température particulières à cette zone. Un volume total de bassin de 2220m³ a alors été obtenu.

Une étude d'impact a été effectuée en partie, afin de prévoir la répercussion des travaux et aménagements importants sur les espaces naturels de la zone. Elle présente l'état initial du site et de son environnement, les effets prévisibles du projet et les mesures de compensation ou de réduction envisageables. Enfin dans une dernière partie, la dispersion des bactéries d'*Escherichia Coli* a été modélisée à l'aide du logiciel fluent. Ces bactéries sont présentes dans le Sègre et l'Angoust et leur présence a révélé une mauvaise qualité bactériologique du cours d'eau.

Etude d'une Station de Transfert d'Énergie par Pompage

*Maxime DANIEL – Barbara FAVIER – Fabien HIGOUNENC – Lucie MAILLIER –
Adrien NAPOLY – Alejandro ORSIKOWSKY – Basile PAYEN – Javier PIERNA –
Matthieu SECHER*

De nos jours, le stockage de l'énergie est un problème important dans la gestion et la distribution d'électricité. Avec la demande qui ne cesse d'augmenter et le développement des énergies vertes, telles que l'éolien ou le solaire, qui sont intrinsèquement des énergies intermittentes, la nécessité de se doter de moyen de stockage pour permettre d'ajuster au mieux la production à la demande est grandissante.

Les Stations de Transfert d'Énergie par Pompage (STEP) représentent un des seuls moyens efficaces de stocker l'énergie en masse. Elles utilisent l'énergie hydroélectrique et se composent de deux bassins. De l'eau est pompée d'un bassin inférieur vers un bassin supérieur où elle sera stockée. Par la suite, cette masse d'eau est turbinée afin de produire de l'électricité à la demande. L'avantage des STEP est de pouvoir fournir de l'électricité au réseau très rapidement. Le rendement d'un cycle pompage-turbinage est d'environ 80%. Le cas particulier de la STEP étudiée est que le bassin inférieur est la mer. Une telle structure n'existe pas encore en France métropolitaine.



Photographie de la STEP marine d'Okinawa

L'objectif de ce projet a été d'étudier sa faisabilité, sa rentabilité et ses impacts sur l'environnement. Nous avons défini comme zone potentielle d'implantation la commune d'Elétot en Seine-Maritime. Le travail a été organisé autour de trois axes :

- Les études techniques
- L'étude environnementale et sociale
- L'étude de rentabilité et d'analyse de cycle de vie

Une puissance nominale de 800MW pour notre projet de STEP marine a été déterminée à partir d'études du réseau existant et des pointes électriques, complétées par l'analyse des projets en cours de production d'énergie renouvelable en France. Le site retenu permet une surface de 1.7km² pour le bassin supérieur. Le dimensionnement de ce bassin a été réalisé pour 10GWh d'énergie stockée impose des digues de 20m de hauteur. L'installation électrique comprend quatre conduites forcées de diamètre 7.7m avec huit groupes turbine-pompe de 100MW. Plusieurs bassins artificiels d'enrochement permettront la prise d'eau en mer. La solution retenue pour l'étanchéité du bassin supérieure est une géomembrane bitumineuse associée à la craie présente sur place. Une recherche sur les matériaux nécessaires à notre projet de STEP marine a été effectuée et a permis de déterminer que l'acier inoxydable AISI 316TI serait le plus adapté pour nos structures métalliques en contact avec l'eau de mer.

Les principaux impacts identifiés seraient l'emprise de la structure sur le territoire et l'aspect visuel en bord de falaise. De ce fait, l'acceptabilité sociale d'un tel projet serait compromise et il serait nécessaire de l'intégrer au sein de la structure sociale. L'analyse des risques a permis d'identifier les points les plus critiques et les mesures de prévention à mettre en place, notamment pour la sécurité du personnel de l'usine.

L'étude de rentabilité économique montre que, dans le contexte actuel du marché de l'électricité en France, un tel projet ne serait pas suffisamment rentable pour justifier un tel investissement. Les impacts de notre STEP et de batteries sur différents paramètres environnementaux ont été comparés et des solutions ont été étudiées envisagées afin de diminuer ces impacts.

Lutte contre les inondations et restauration de la qualité écologique du Vair à Harchéchamp

Pierrick BALLAND - Lucille BORE - Nicolas BOURGET
Lise HISCOCK -Olivier LEPINE - Nicolas LEROUX

Créé dans un contexte marqué par des inondations récurrentes et par la nécessité de se conformer à Loi sur l'Eau, l'Etablissement Public d'Aménagement de la Meuse Amont (EPAMA) s'est engagé dans un projet global d'aménagement et de gestion de la Meuse Amont. A ce titre, le bureau d'études Genivar a été mandaté pour mener à bien cette étude. Cette société nous a proposé de nous intéresser au cas particulier de la commune d'Harchéchamp (88), traversée par le Vair, affluent de la Meuse.

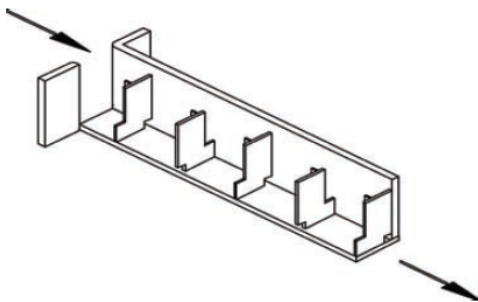


Ce tronçon est caractérisé par la présence de trois ouvrages transversaux (pont, passerelle et seuil). L'ensemble de ces ouvrages et la configuration du site impliquent deux problématiques principales : la continuité écologique et la lutte contre les inondations. Aussi, notre travail comporte deux axes d'étude majeurs visant à proposer des scénarios d'aménagement :

- sur le volet inondation, il s'agit d'étudier, au moyen d'un modèle hydraulique, les impacts des différents ouvrages transversaux existants et ceux liés aux propositions d'aménagement,
- sur le volet écologique, un diagnostic de l'état piscicole du Vair aval a été mené. Dans ce contexte, des ouvrages de franchissement ont été proposés au niveau du seuil d'Harchéchamp et un dossier d'autorisation a été établi dans le cas où le dérasement du seuil serait retenu.

Afin de mener à bien ce projet, trois thématiques de travail ont été définies :

- l'étude hydrologique statistique permettant la définition des débits nécessaires à la construction du modèle hydraulique et au dimensionnement des ouvrages, et la construction d'un modèle pluie-débit (HEC- HMS),
- la construction d'un modèle hydraulique 1D (HEC-RAS) et l'étude des écoulements pour différents scénarios d'aménagement,
- l'étude préliminaire de conception de passes à poissons ainsi que la réalisation d'un dossier réglementaire au titre du code de l'environnement.



Les modélisations hydrauliques ont pu mettre en évidence que les ouvrages transversaux n'influent pas de façon significative sur les inondations.

Parmi les scénarios envisagés pour limiter le risque d'inondabilité, deux solutions ont été retenues. D'une part la mise en place de murs de protection le long du cours d'eau et d'autre part, le recalibrage du lit majeur en rive gauche. Quant aux propositions d'aménagements piscicoles, une passe à échantures latérales et orifices noyés ainsi qu'une rampe à enrochements régulièrement répartis ont été proposées dans le cas où le seuil serait maintenu. De plus, un dossier d'autorisation a été établi dans le cas du dérasement de seuil.

Rejet en mer d'un effluent industriel : modélisation du dépôt, du transport et impact physico-chimique

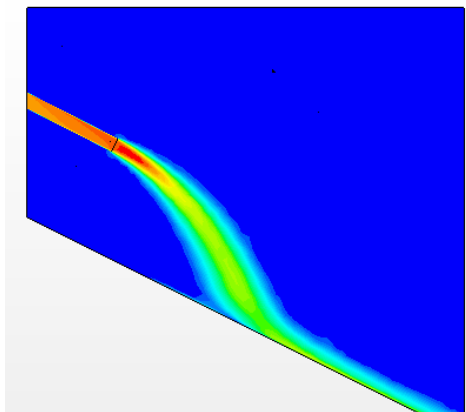
*Audrey Douinot - Brice Pinteaux -
Simon Gsell - Erwan Letard*

Depuis le début des années 2000, la production d'aluminium a plus que doublée. Une conséquence de cette augmentation est la production de millions de tonnes de boues rouges. Ces boues alcalines (pH 11 à 14 en général) sont composées principalement d'oxyde de fer et d'aluminium ainsi que des traces de métaux lourds tels que le titane et le chrome.

La gestion de cet effluent industriel est un enjeu crucial pour l'environnement. Cette gestion diffère selon les pays. Plusieurs pays choisissent le stockage en bassin plein air ce qui, en cas de rupture de digue, provoque des catastrophes environnementales très graves comme en à Ajka en Hongrie en 2010. En France, l'usine Alteo de Gardanne est autorisée par arrêté préfectoral à rejeter ces boues rouges en mer Méditerranée.

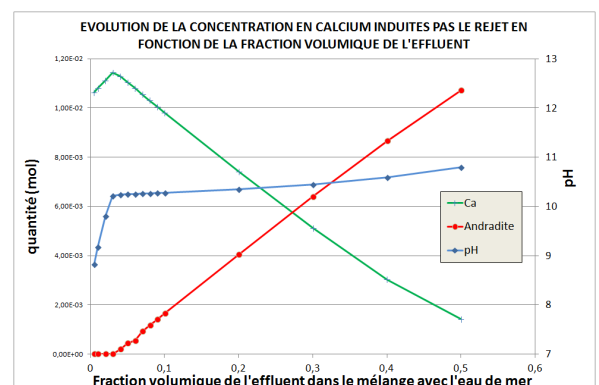
C'est plus particulièrement sur cette dernière implantation citée que nous avons porté notre projet. Nous avons choisi de caractériser le rejet en mer :

- Identifier et modéliser le comportement physique de l'effluent.
- Etablir les équilibres physico-chimiques entre le rejet et le milieu receveur.



L'étude du comportement physique de l'effluent lors de son rejet passe par une description phénoménologique du jet puis par une modélisation permettant la mise en place de calculs numériques. L'utilisation des données fournies par l'industriel ainsi que certaines hypothèses jugées pertinentes ont permis la réalisation de différents calculs à l'aide de l'outil Starccm+. Les résultats de ces simulations permettent une meilleure caractérisation du rejet et la détermination de quelques grandeurs caractéristiques du mélange. On s'intéresse en particulier à l'influence de la variation de la densité du rejet sur les résultats.

L'étude des réactions chimiques à l'aide de Phreeqc a permis de déterminer l'évolution de la composition en fonction du taux de dilution dans l'eau. Selon nos résultats, l'alcalinité est induite principalement par la cancrinite, un produit de réaction du procédé Bayer. Le pH du mélange varie de façon significative à partir d'un rapport effluent / eau de mer de 0,05. Cela induit alors la précipitation ou dissolution de minéraux.



L'ensemble de ce projet a été réalisé dans un cadre académique et de nombreuses hypothèses ont dû être posées afin de réaliser cette étude. De ce fait les résultats que nous présentons doivent rester dans le cadre de ces hypothèses et ne peuvent donc pas correspondre exactement au cas réel de Gardanne.