REPUBLIQUE TUNISIENNE

****

MINISTERE DE L'INDUSTRIE

****

SOCIETE TUNISIENNE DE L'ELECTRICITE ET DU GAZ

ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL & SOCIAL DE LA CENTRALE A CYCLE COMBINE DE RADES

Décembre 2013 (version 2)

T.P.E

Tunisie Protec Environnement
17, impasse de l'aurore 1082 Mutuelleville-
Tél : 71.841.801 / 71.802.822 Fax : 71.785.681
E-mail : tpe@cbg-groupe.com

SOMMAIRE

CHAPITRE 1. JUSTIFICATION DU PROJET &CADRE JURIDIQUE ET INSTITUTIONNEL 9

1.1. Contexte de l'Etude d'impact sur l'environnement 10

1.2. Cadre réglementaire et institutionnel relevant du projet 10
1.2.1. Le Cadre politique 10
1.2.2. Le Cadre législatif 10
1.2.3. Le Cadre institutionnel 14

1.3. Justification Du projet 14
1.3.1. Introduction 14
1.3.2. Justification du choix de l'emplacement 15
1.3.3. Justification du choix du type cycle combiné 15

CHAPITRE 2. PRESENTATION DU BE ET DE LA STEG 16

2.1. Présentation du bureau d'études 17
2.1.1. Prestations 17
2.1.2. Champ d'intervention 17

2.2. Présentation de la STEG 18

CHAPITRE 3. DESCRIPTION DETAILLEE DU PROJET 20

3.1. Présentation générale du projet 21

3.2. Site d'implantation, périmètre d'étude et horizon temporel 21
3.2.1. Site d'implantation 21
3.2.2. Superficie du terrain 22
3.2.3. Vocation du site d'implantation 23
3.2.4. Périmètre de l'étude 23

3.3. Horizon temporel du projet 23
3.3.1. Phase de construction 23
3.3.2. Phase d'exploitation 23

3.4. Description du terrain et des installations 25
3.4.1. Plan du terrain 25
3.4.2. Plan des installations 25
3.4.3. Description des ateliers 28
3.4.4. Description des installations de stockage 28
3.4.5. Système de collecte d'eau 28

3.5. Principe de production de l'électricité 29

3.6. Description des procédés 29
3.6.1. Procédé de fabrication 29
3.6.2. Matières premières 30
3.6.3. Source d'énergie 30

3.6.4. Consommation en combustibles 30
3.6.5. Capacité de production 31
3.6.6. Système de contrôle et de sécurité 31
3.6.7. Circuit d'eau sanitaire 32

3.7. Bilan matière du projet 33
3.7.1. Rejets hydriques 33
3.7.2. Rejets atmosphériques 33
3.7.3. Rejets solides 33
3.7.4. Rejet des boues 33
3.7.5. Emissions sonores 33
3.7.6. Emissions de vibrations 34

3.8. Accidents /risques et Systèmes de suivi / surveillance 34
3.8.1. Accidents / risques 34

3.9. Les installations à usage commun pour toutes les étapes de la centrale de Rades (A, B et C) 35
3.9.1. Le port d'aspiration de l'eau de mer 35
3.9.2. La station de dessalement d'eau de mer 37

3.10. Description des différentes phases du projet 41
3.10.1. Phase de construction 41
3.10.2. Phase d'exploitation 43

CHAPITRE 4. ANALYSE DE L'ETAT INITIAL DE SITE DU PROJET ET DE SON ENVIRONNEMENT 48

4.1. Localisation Du Site 49

4.2. Topographie 51

4.3. Le cadre géologique 53

4.4. L'hydrographie 53

4.5. Le climat 55
4.5.1. Le régime pluviométrique: 55
4.5.2. Tableau 2 : Les données sur les précipitations dans le Grand Tunis (INM) 55
4.5.3. Le régime thermique 55
4.5.4. Humidité et Evaporation 56
4.5.5. Le régime du vent 57

4.6. Les parcs naturels du gouvernorat de Ben Arous 58
4.6.1. Parc national du Boukornine 58

4.7. Le milieu marin et côtier 59
4.7.1. Présentation du golfe de Tunis: Situation géographique 60
4.7.2. Bathymétrie du golfe de Tunis 61
4.7.3. Les lagunes communicantes avec le golfe 62
4.7.4. Les rejets dans le golfe de Tunis 67
4.7.5. Etat de pollution des eaux du golfe 73
4.7.6. Caractéristiques climatiques du golfe de Tunis 76
4.7.7. Caractéristiques océanographiques du golfe de Tunis 80

4.8. Campagne d'investigation en mer réalisée le 27/09/2013 (état initial de l'environnement marin avant exploitation des rades c) 89

4.8.1. Déroulement de la mission et résultats 89
4.8.2. Discussion des résultats: 105

CHAPITRE 5. ANALYSE DES CONSEQUENCES PREVISIBLES, DIRECTES, INDIRECTES ET CUMULATIVES DU PROJET SUR L'ENVIRONNEMENT 106

5.1. Introduction Générale: 107

5.2. Les différents types d'impacts : 107
5.2.1. Impacts directs ou indirects 108
5.2.2. Impacts temporaires ou permanents 108

5.3. Les mesures permettant une meilleure insertion du projet dans son environnement 108
5.3.1. Mesures de réduction voire de suppression des impacts 108
5.3.2. Mesures compensatoires : 108
5.3.3. Mesures d'accompagnement de projet : 108

5.4. Analyse des conséquences prévisibles, directes, indirectes et cumulatives du projet sur l'environnement 108
5.4.1. Impacts potentiels générés en phase chantier 108
5.4.2. Impacts potentiels générés en phase d'exploitation 112

5.5. Conclusion 122

5.6. Matrice des impacts sur l'environnement 123

5.7. Etude de la dispersion de la tache thermique en mer 125
5.7.1. caractéristiques du rejet d'eau chaude 125
5.7.2. Calage et résultats du modèle de simulation 126
5.7.3. Simulation de l'hydrodynamique du golfe de Tunis 132
5.7.4. Résultats des simulations de l'hydrodynamique du golfe 134
5.7.5. Conclusions sur l'hydrodynamique du golfe 140
5.7.6. Simulation de la dispersion de la tache thermique dans le golfe 140
5.7.7. Simulations de l'impact après extension (débit 67,8 m3/s) 145
5.7.8. Synthèse des résultats des simulations de la dispersion thermique 149
5.7.9. Conclusions 149

5.8. Etude de dispersion des émissions atmosphériques 150
5.8.1. Introduction 150
5.8.2. Calage et résultats du modèle de simulation 150

CHAPITRE 6. MESURES ENVISAGEES POUR ELIMINER, REDUIRE OU COMPENSER LES CONSEQUENSES DOMMAGEABLES DU PROJET SUR L'ENVIRONNEMENT 167

6.1. Introduction 168

6.2. Mesures durant les travaux 168

6.3. Mesures durant la période de production 169
6.3.1. Mesures relatives aux émissions atmosphériques 169
6.3.2. Mesures relatives aux émissions liquides 169
6.3.3. Mesures relatives aux déchets solides 170
6.3.4. Mesures relatives aux opérations de dragage 172
6.3.5. Mesures relatives aux émissions sonores et vibrations 172

6.3.6. Mesures prévues pour le choix du combustible 173
6.3.7. Mesures prévues pour la sécurité de la centrale 174
6.3.8. Mesures Socio-économiques 175

CHAPITRE 7. PREPARATION D'UN PLAN DETAILLE DE GESTION ENVIRONNEMENTALE (PGE) 176

7.1. Préparation d'un plan détaillé de gestion environnementale (pge) 177
7.1.1. Objectifs 177
7.1.2. Plan de Gestion Environnemental 177

7.2. Programme de suivi environnemental 183
7.2.1. Les objectifs généraux 183
7.2.2. Contexte particulier 183

7.3. Le renforcement des capacités 184

7.4. Consultation du public 184
7.4.1. Structure administrative de la Tunisie 184
7.4.2. Organisation de la consultation publique 185

CONCLUSION 188

ANNEXES 190

INTRODUCTION

L'accroissement de la demande d'électricité imposée par l'évolution des besoins des utilisateurs et l'extension des activités économiques incite les planificateurs à développer les sources d'énergie et à accroître les capacités de production.

C'est dans ce cadre que s'inscrit la création de la nouvelle centrale électrique à cycle combiné bi-arbre (Etape C) à Rades d'une capacité 500 MW dont l'objectif est de renforcer la centrale existante (Etape A et B).,

Tous les intervenants ont pris conscience de l'ampleur des dangers d'une pollution industrielle incontrôlée et sont mobilisés pour réussir la protection écologique du pays. De ce fait, la Société Tunisienne de l'Electricité et du Gaz (STEG) envisage, de contribuer à l'effort national de protection de l'environnement et de respecter la législation régissant la matière.

La présente étude est consacrée à l'analyse de l'impact prévisionnel du projet sur l'environnement et aussi sur la société.

Cette étude, conformément à l'article 6 du décret tunisien n° 2005-1991 réglementant les procédures d'élaboration des études d'impacts sur l'environnement, met en exergue l'importance des incidences éventuelles du projet sur l'environnement et les conditions dans lesquelles l'opération projetée répond aux préoccupations de la protection de l'environnement.

CONSISTANCE DE L'ETUDE D'IMPACT

L'article 6 du décret n° 2005-1991 du 11 Juillet 2005 fixe le contenu d'une étude d'impact sur l'environnement (EIE). Ce contenu doit permettre de poser clairement l'ensemble des problèmes relatifs aux impacts prévisibles du projet sur les milieux physiques, naturels et humains.

L'EIE doit se baser sur l'analyse de l'état initial du site et de son environnement, et sur la description détaillée du projet envisagé.

L'EIE permet d'étudier les raisons et les justifications techniques du projet, compte tenu des préoccupations relatives à la protection de l'environnement. Elle se doit par ailleurs de préciser dans un plan de gestion environnemental, les mesures complémentaires à associer au projet pour supprimer, réduire ou compenser les conséquences du projet susceptibles de porter préjudice à l'environnement.

Enfin, elle se doit également d'effectuer l'évaluation des mesures dépenses associées à la réalisation des mesures concomitantes préconisées.

L'objet de la présente étude :

L'objet de cette étude est d'identifier les impacts environnementaux et sociaux pouvant être générés par la création de la nouvelle centrale électrique à cycle combiné, leur analyse et la mise en exergue des mesures préconisées pour la sauvegarde du milieu récepteur direct et indirect sous la base d'un programme de gestion environnemental (PGE).

Les principaux éléments de l'EIES sont :

1. Présentation du cadre juridique et institutionnel dans lequel le projet sera conçu, exécuté et exploité et dans lequel l'EIE sera réalisée.
2. Définition et délimitation de la zone d'influence du Projet.
3. Description détaillée du Projet.
4. Analyse de l'Etat Initial du site du projet et de son environnement :
   i. L'Environnement physique,
   ii. L'Environnement biologique,
   iii. L'Environnement socioculturel.
5. Analyse des conséquences prévisibles, directes, indirectes et cumulatives du Projet sur l'Environnement, et en particulier les ressources naturelles, les différentes espèces de la faune et de la flore, les zones bénéficiant d'une protection juridique, les zones sensibles, les espaces protégés, les parcs nationaux, les parcs urbains, etc.

6. Préparation d'un Plan Détaillé de Gestion Environnementale (PGE) :

   i. Développement des Mesures d'Atténuation Environnementale pour éliminer ou réduire et si possible compenser les conséquences dommageables du projet et estimation des coûts de ces mesures,

   ii. Développement d'un Programme de Contrôle et de Suivi Environnemental,

   iii. Mesures Institutionnelles et Identification de la Formation et du Renforcement Institutionnel pour Superviser l'Atténuation Environnementale.

7. Consultation publique & Concertation avec les organismes gouvernementaux et non gouvernementaux (ONG), et les personnes affectées par le Projet.

CHAPITRE 1. JUSTIFICATION DU PROJET &CADRE JURIDIQUE ET INSTITUTIONNEL

1.1. CONTEXTE DE L'ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

Les études d'impact sur l'environnement constituent un des outils clés pour la mise en œuvre de la politique et de l'action environnementale. Elles garantissent l'intégration de la composante environnementale dans le cycle de préparation des projets d'investissement et interviennent à l'amont du processus de conception et de préparation de toute activité de développement économique susceptible d'avoir des impacts potentiels sur l'environnement et les ressources naturelles.

1.2. CADRE REGLEMENTAIRE ET INSTITUTIONNEL RELEVANT DU PROJET

1.2.1. Le Cadre politique

Sur le plan national : La protection de l'environnement pour la Tunisie est à la fois un objectif et une orientation stratégique en vue d'assurer à sa population une bonne qualité de vie et un développement socio-économique durable. Ceci traduit la volonté de concilier les obligations de la croissance économique et l'amélioration des conditions sociales de la population d'une part, aux exigences de la conservation des ressources naturelles et de la protection de l'environnement d'autre part.

La gestion des ressources naturelles en particulier, a constitué depuis plusieurs années une préoccupation majeure des responsables tunisiens.

Cette préoccupation est dictée en particulier par la variabilité climatique qui caractérise la Tunisie, et par la rareté de ses ressources naturelles et leur vulnérabilité. C'est ainsi qu'une grande priorité est accordée dans les plans de développement économique et social à la protection des ressources naturelles et aux grands projets de lutte contre la pollution.

Sur le plan international : la Tunisie a adhéré à la plupart des traités internationaux. Elle a en particulier signé et ratifié le Protocole de Montréal relatif à la protection de la couche d'ozone, la convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, la convention sur la diversité biologique, celle de la lutte contre la désertification, la convention de Bâle relative aux déchets dangereux, et la convention de Barcelone et ses protocoles pour la protection de la Méditerranée.

1.2.2. Le Cadre législatif

Pour la protection de l'environnement et plus particulièrement celle des ressources naturelles, la Tunisie a mis en place un arsenal législatif et réglementaire. Il couvre un large éventail d'outils tels

que les codes relatifs aux principales ressources naturelles, les multiples mesures coercitives à l'encontre des établissements pollueurs et l'obligation des EIEs en tant qu'outil de prévention.

Le décret N° 2005-1991 du 11 juillet 2005 soumet obligatoirement les unités énumérées à son annexe I dont les centrales électriques (classées en catégorie B de cette annexe) à une étude d'impact sur l'environnement élaborée par des bureaux d'études ou des experts spécialisés. L'article 6 du décret précité stipule que le contenu de l'étude d'impact sur l'environnement doit refléter l'incidence prévisible de l'unité sur l'environnement et doit comprendre au minimum certains éléments précisés.

En outre, les principaux textes réglementaires régissant l'environnement et le secteur industriel en Tunisie et qui seront intégralement respectés dans le projet de la centrale sont les suivants :

- ✓ Loi n° 75-16 du 31 Mars 1975 portant promulgation du Code des Eaux qui contient diverses dispositions qui régissent, sauvegardent et valorisent le domaine public hydraulique. Selon les termes de l'article 109 de ce code, il est interdit de laisser écouler, de déverser ou de jeter dans les eaux du domaine public hydraulique, concédées ou non, des eaux résiduelles ainsi que des déchets ou substances susceptibles de nuire à la salubrité publique ou à la bonne utilisation de ces eaux pour tous usages éventuels.

- ✓ Décret n° 84-1556 du 29 décembre 1984, portant réglementation des lotissements industriels. Aux termes de l'article 26 de ce décret, le niveau de bruit de jour généré par une entreprise ne devra pas dépasser 50 décibels, mesurés au droit de la façade des habitations les plus proches de la zone d'activité.

- ✓ Décret N° 85-56 du 2 Janvier 1985 portant organisation des rejets des déchets dans le milieu récepteur (mer, lacs, sebkhas, cours d'eau, nappes souterraines, etc.). Les eaux usées ne peuvent être déversées dans le milieu récepteur qu'après avoir subi un traitement conforme aux normes régissant la matière.

- ✓ Loi N° 88-91 du 2 Août 1988 portant création de l'Agence Nationale de Protection de l'Environnement (ANPE) telle qu'elle a été modifiée par la loi N° 92-115 du 30 Novembre 1992. Selon les termes de l'article 8 de cette loi, les établissements industriels qui endommagent l'environnement ou dont l'activité cause une pollution de l'environnement par des rejets solides, liquides, gazeux ou autres sont tenus à l'élimination, à la réduction et éventuellement à la récupération des matières rejetées ainsi qu'à la réparation des dommages qui en résultent. L'Agence Nationale de Protection de l'Environnement est habilitée à intenter, devant les tribunaux, toute action visant à obtenir la réparation des atteintes aux intérêts collectifs qu'elle a pour mission de défendre.

✓ Arrêté du Ministre de l'Economie Nationale du 20 juillet 1989 portant homologation de la Norme Tunisienne NT 106.002 qui fixe les conditions auxquelles sont subordonnés les rejets d'effluents dans le milieu hydrique (domaine public maritime, domaine public hydraulique et canalisations publiques).

✓ Arrêté du Ministre de l'Economie Nationale du 28 Mai 1990 portant homologation de la norme tunisienne NT 106.03 relative à l'utilisation des eaux usées à des fins agricoles.

✓ Décret N° 90-2273 du 25 Décembre 1990 définissant le règlement intérieur des contrôleurs de l'ANPE.

✓ Arrêté du Ministre de l'Economie Nationale du 28 Décembre 1994 portant homologation de la Norme Tunisienne NT 106.04 relative aux valeurs limites et valeurs guides des polluants dans l'air ambiant.

✓ Loi N° 96-41 du 10 Juin 1996, relative aux déchets et au contrôle de leur gestion et de leur élimination. Les déchets sont classés selon leur origine en déchets ménagers et déchets industriels et selon leurs caractéristiques en déchets dangereux, déchets non dangereux et déchets inertes. Le mode de gestion des déchets dangereux est réglementé. La liste des déchets dangereux est fixée par le Décret n° 2000-2339 du 10 Octobre 2000.

✓ Loi N° 97-37 du 2 Juin 1997, fixant les règles organisant le transport par route des matières dangereuses afin d'éviter les risques et les dommages susceptibles d'atteindre les personnes, les biens et l'environnement. Les matières dangereuses sont divisées en 9 classes. La liste et la définition des matières, de chaque classe, autorisées au transport par route, sont fixées par décret.

✓ Loi n° 2001-14 du 30 Janvier 2001, portant simplification des procédures administratives relatives aux autorisations délivrées par le Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire dans les domaines de sa compétence.

✓ Décret N° 2002-335 du 14 Février 2002, fixant le seuil à partir duquel la consommation des eaux est soumise à un diagnostic technique, périodique et obligatoire des équipements, des travaux et des modes de production liés à l'utilisation des eaux, les conditions de désignation des experts, la nature des diagnostics et leur périodicité.

✓ Décret N° 2002-693 du 1er Avril 2002, fixant les conditions et les modalités de reprise des huiles lubrifiantes et des filtres usagés en vue de garantir leur gestion rationnelle et d'éviter leur rejet dans l'environnement.

✓ Décret 2005-1991 du 11 juillet 2005, relatif à l'étude d'impact sur l'environnement. Les projets relevant des secteurs de matériaux de construction sont soumis à la procédure d'étude d'impact sur l'environnement.

✓ Décret N° 2005-2317 du 22 août 2005, portant création d'une Agence Nationale de Gestion des Déchets (ANGED). Selon l'article 4, l'Agence prépare les cahiers des charges et les dossiers des autorisations relatifs à la gestion des déchets prévues à la réglementation en vigueur et suit leur exécution, en outre l'agence est chargée de suivre les registres et les carnets que doivent tenir les établissements et les entreprises, qui procèdent à titre professionnel, à la collecte, au transport, élimination et valorisation des déchets pour leur compte ou pour celui d'autrui.

✓ Décret N° 2005-2933 du 1er novembre 2005 fixant les attributions du Ministère de l'Environnement et du Développement Durable (MEDD), qui comprennent la nécessité de s'assurer que le Gouvernement Tunisien respecte les accords environnementaux internationaux.

✓ Arrêté du ministre de l'industrie, de l'énergie et des petites et moyennes entreprises du 15 novembre 2005, fixant la nomenclature des établissements dangereux, insalubres ou incommodes. Conformément à la rubrique 1709 de cette nomenclature, les unités de fabrication de ciments sont classées en première catégorie quelle que soit la capacité de production.

✓ Décret N° 2005-3079 du 29 novembre 2005, fixant la liste des matières dangereuses qui sont transportées par route obligatoirement sous le contrôle et avec l'accompagnement des unités de sécurité.

✓ Décret N° 2005-3395 du 26 décembre 2005, fixant les conditions et les modalités de collecte des accumulateurs et piles usagées.

✓ Arrêté du Ministre de l'environnement et du développement durable du 23 mars 2006, portant création d'une unité de traitement des déchets dangereux et de centres de réception, de stockage et de transfert.

✓ Arrêté du ministre de l'agriculture et des ressources hydrauliques du 19 juillet 2006 fixant la liste de la faune et de la flore sauvages rares et menacées d'extinction.

✓ Décret N° 2006-2687 du 9 octobre 2006, relatif aux procédures d'ouverture et d'exploitation des établissements dangereux, insalubres ou incommodes.

✓ Décret n° 2010-2519 du 28 septembre 2010, fixant les valeurs limite à la source des polluants de l'air de sources fixes.

1.2.3. Le Cadre institutionnel

La Tunisie a opté pour la mise en place d'un cadre Institutionnel par étapes, les deux textes réglementaires de base régissant le secteur des déchets solides en Tunisie sont :

- La loi organique des communes n°95-68 : La collecte des déchets est du ressort des collectivités.
- La loi relative aux déchets et au contrôle de leur gestion et de leur élimination n°96-41 : L'après collecte et le traitement des déchets ont été confiés à l'ANPE.

La responsabilité globale de la gestion de l'environnement incombe au Ministère de l'Environnement et du Développement Durable (MEDD) et aux diverses agences sous tutelles: l'Office National de l'Assainissement (ONAS), l'Agence Nationale de Protection de l'Environnement (ANPE), l'Agence Nationale de Gestion des Déchets (ANGed) et le Centre International des Technologies de l'Environnement de Tunis (CITET).

Les autres ministères/agences concernés par les questions environnementales sont :

Les Ministères de l'Agriculture et des Ressources Hydrauliques, de l'Intérieur et du développement local, de la Santé et de la Culture, ministère du commerce et de l'artisanat, Ministère de l'industrie et de la technologie, l'Agence de Protection et d'Aménagement du Littoral respectivement pour les domaines suivants : Eaux, sols, forêts et parcs nationaux, services municipaux, santé publique et hygiène, la préservation du patrimoine historique et culturel, et milieu marin.

1.3. JUSTIFICATION DU PROJET

1.3.1. Introduction

Opérant en tant qu'entreprise publique sous la tutelle du Ministère de l'Industrie, la Société Tunisienne de l'Electricité et du Gaz (STEG) a le monopole de transport et de distribution de l'électricité et du gaz constituant respectivement 80% et 20% de son chiffre d'affaires.

L'activité électrique de la STEG a rapidement évolué pour faire face à la demande croissante qui devrait se manifester particulièrement durant le XIIème Plan, après la mise en œuvre des grands projets économiques et urbanistiques.

En plus des soucis de satisfaction des besoins, la STEG vise une meilleure diversification des sources de production de l'énergie et la préservation de l'environnement en optant pour l'exploitation des ressources renouvelables et propres.

Le projet de réalisation de la nouvelle centrale à cycle combiné de production d'électricité de Rades, s'inscrit dans le cadre du renforcement de la production d'électricité avec des technologies performantes. Ce projet énergétique est d'une nécessité absolue au développement socio-économique régional projeté pour le court et le moyen terme.

1.3.2. Justification du choix de l'emplacement

Le choix du site particulier de la centrale existante (la centrale projetée constitue une extension de celle actuellement en fonctionnement) permet de bénéficier des avantages relatifs à l'exploitation et à la valorisation du site (disponibilité de terrain approprié à l'implantation de la nouvelle centrale,…) et des équipements et infrastructures de la centrale existante (existence de réseaux, possibilités de raccordements, …). Ces avantages sont de nature à optimiser les investissements à consentir.

L'emplacement proposé offre un grand nombre d'avantages. Situé en zone industrielle, il est desservi par des canalisations d'eaux et d'électricité (existence de réseau, possibilité de raccordement). Le choix de ce site permet donc de réduire le cout d'installation de la centrale puisque le nouveau projet constitue une extension de celle actuellement en fonctionnement (faible coût d'intégration au réseau) et d'en minimiser les impacts sur l'environnement.

1.3.3. Justification du choix du type cycle combiné

Le cycle combiné est adapté au besoin de centrale de base avec un bon rendement (59%), une durée de montage courte comparée aux moyens de production équivalent et un temps de démarrage et mise en réseau rapide.

Les centrales thermiques à cycle combiné sont en forte expansion. Le coût concurrentiel de cette filière, son efficacité, sa mise en service rapide et ses impacts sur l'environnement sont réduits par rapport à d'autres filières thermiques, ainsi que la présence d'une infrastructure gazifière et de transport de l'électricité solide l'ont rendu attrayante.

La configuration bi-arbres du cycle combiné permet une réalisation en deux étapes et combler le déficit de la demande électrique à court terme: une mise en service de la turbine à gaz en cycle ouvert avant l'été 2017 alors que celle du cycle combiné en totalité est prévue avant l'été 2018.

CHAPITRE 2. PRESENTATION DU BE ET DE LA STEG

2.1. PRESENTATION DU BUREAU D'ETUDES

BUREAU D'ETUDES ET CONSEILS

TUNISIE PROTEC ENVIRONNEMENT

Adresse : 17, Impasse de l'Aurore -1082 Mutuelleville Tunis -TUNISIE

Tél : 216-71-841.801 / 216-71-802.822

Fax : 216-71-792.718 / 216-71-785.681

E –mail : tpe@cbg-groupe.com

Succursale Tripoli : Sidi El Massri – Route l'université - P.O Box : 93126

2.1.1. Prestations

TPE, Tunisie Protec Environnement, est un bureau d'étude et conseils tunisien, spécialisé dans le secteur de l'Environnement et de l'Hydraulique. L'étendue de son activité va des projets industriels, agricoles et touristiques aux diverses études relatives à l'environnement en général. Il s'agit de l'élaboration d'études d'impacts sur l'environnement, de dépollution, de collecte et recyclage, de gestion de déchets, de technologie propre ainsi que les projets hydro-agricoles (station de pompage, ouvrages hydrauliques).

2.1.2. Champ d'intervention

- Etude d'impact sur l'environnement
- Etude de dépollution
- Etude d'exécution et de réalisation
- Etude de projet de collecte et de recyclage
- Audit d'optimisation du procédé et de minimisation des émissions et déchets.
- Assistance dans l'exploitation des infrastructures de dépollution.
- Etude de projet de technologie propre
- Etude d'exécution des stations d'épuration urbaines (NP, AP, DAO)
- Etudes de pré-traitement des eaux usées.
- Etude des projets de création de périmètres irrigués (AP, DAO)
- Etude des projets d'alimentation en eau potable (AP, DAO)

- Etude en acoustique
- Etudes de faisabilité technique et économique.
- Assistance technique au montage et mise en marche des installations de traitement des rejets hydriques et atmosphériques.
- Organisation des formations (courte et moyenne durée) en matière d'environnement et d'aménagement du territoire
- Diagnostic environnemental dans le cadre de la Mise à Niveau des entreprises.

2.2. PRESENTATION DE LA STEG

La Société Tunisienne de l'Electricité et du Gaz (STEG), qui est le promoteur du projet est une entreprise industrielle à caractère public crée en Avril 1962 et régie sous tutelle du Ministère de l'Industrie.

La STEG a le monopole du transport et de la distribution de l'électricité et du gaz. Sa mission principale est de couvrir les besoins du pays en électricité et en gaz naturel dans les meilleures conditions économiques, de qualité et de respect de l'environnement et de la sécurité des usagers.

L'énergie électrique produite à partir des divers centres de production répartis sur tout le territoire tunisien est évacuée à travers un réseau haute tension (HT) maillé et interconnecté avec le réseau maghrébin à travers l'Algérie et la Libye.

Pour le secteur gaz naturel, la STEG dispose d'un réseau de transport par gazoduc haute pression et d'un réseau de distribution de gaz naturel basse pression.

L'activité électrique de la STEG a rapidement évolué pour faire face à une demande croissante avec des ressources énergétiques de surcroît, fort limitées. Actuellement, la puissance installée est de 3250 MW, la production de l'électricité s'élève à 10 250 GWh (2008) et le taux d'électrification global dépasse 99%.

A moyen et long terme, la STEG vise une meilleure diversification des sources de production de l'énergie et la préservation de l'environnement en privilégiant la valorisation des ressources renouvelables (production du kilowattheure vert) et en instaurant les équipements les plus appropriés en terme de rendement tels que le cycle combiné qui occupe une place prépondérante dans la production de l'énergie électrique. Dans ce contexte, on note que la STEG a intégré la technologie éolienne parmi ses choix de production. Une première centrale de 10 MW a été mise en service en 2000 à Sidi Daoud au Nord Est du pays. Elle a connu une première extension de 8,7 MW en

2004 et une deuxième extension de 34,5 MW en 2009. Aussi à Bizerte, la centrale éolienne est déjà en exploitation. Des extensions et d'autres projets sont programmés et en cours de réalisation.

RAISON SOCIALE	**STEG**
FORME JURIDIQUE	**ETABLISSEMENT PUBLIC A CARACTERE INDUSTRIEL ET COMMERCIAL**
PREMIER RESPONSABLE	**MR. RACHID BEN DALI– PRESIDENT DIRECTEUR GENERAL**
ADRESSE DU SIEGE	**38, RUE KEMAL ATATURK 1021- TUNIS**

CHAPITRE 3. DESCRIPTION DETAILLEE DU PROJET

3.1. PRESENTATION GENERALE DU PROJET

Le projet consiste à la mise en place d'une centrale électrique à cycle combiné bi-arbre à Rades C d'une puissance totale d'environ 500 MW. La désignation du constructeur sera suite à un appel d'offres, le constructeur retenu sera chargé des études, de la fabrication, de la fourniture, du transport sur site, du montage, des essais, de la mise en service des équipements, ainsi que des travaux et des ouvrages de génie civil conformément aux exigences du cahier des charges.

La durée d'exécution des travaux est estimée à 33 mois avec une période d'exploitation du projet est d'environ 25 ans.

3.2. SITE D'IMPLANTATION, PERIMETRE D'ETUDE ET HORIZON TEMPOREL

3.2.1. Site d'implantation

La nouvelle centrale à cycle combiné de Rades sera implantée dans l'enceinte du centre de production d'électricité existant située sur le littoral nord du pays, au fond du golfe de Tunis et au sud du port de la Goulette (environ 10 Km de la capitale). Mis à part la centrale CPC (production privée), le centre de production de Rades est constitué par deux centrales thermiques existantes (Etapes A et B).

Figure 1: Site d'implantation de la nouvelle centrale électrique RadesC

Les coordonnées UTM de la centrale sont les suivantes:

Latitude : 36°47'53.85"N Longitude : 10°17'1.81"E

Figure 2: Vue générale de la centrale électrique de Rades

3.2.2. Superficie du terrain

Le terrain est la propriété de la STEG. La superficie du site du centre de Production de Rades (CPC et étapes A/B et la future centrale Etape « C ») est environ 37 000 000 m^2.

Tableau 1 : Répartition de la superficie occupée au niveau du site de la centrale

Désignation	Superficie
Salle des machines	3 000 m^2
Bâtiment électrique	1 000 m^2
Atelier et magasin	600 m^2
Local compresseur	100 m^2
Local diesel	60 m^2
Bâtiment administratif	-
Poste de gardiennage	-
Bloc social	-

Le reste de la superficie du site est destiné pour :

-les auxiliaires des groupes TG et TV de la nouvelle centrale

-les zones vertes

-les routes.

3.2.3. Vocation du site d'implantation

Le terrain alloué pour l'implantation de la nouvelle centrale électrique est à la propriété de la STEG est à vocation industrielle.

3.2.4. Périmètre de l'étude

En tenant compte de la nature et de l'envergure socio-économique du projet, la zone d'étude et celle d'influence couvrent l'ensemble du territoire tunisien. Quant au périmètre dans lequel se font sentir les impacts des rejets atmosphériques et de la tâche thermique, il sera limité au voisinage immédiat de la centrale sur un rayon de 6 km autour du site de d'implantation.

3.3. HORIZON TEMPOREL DU PROJET

L'exploitation de la centrale durera au moins 25 ans. En cas d'un éventuel arrêt décisionnel de son exploitation pour différentes raisons, la STEG assurera le démantèlement de ses installations et la réhabilitation du site dans son état initial.

L'horizon temporel de l'étude d'impact concerne les deux premières phases du projet qui sont la phase de construction et la phase d'exploitation.

La phase d'abandon de la centrale fera l'objet d'une étude d'impact à la fin de la période d'exploitation.

3.3.1. Phase de construction

La phase de construction englobe la phase d'étude et de conception de la centrale, les travaux de construction et de montage et les tests d'essai et de mise en service. La duré prévisionnelle de cette phase est estimé à 33 mois.

3.3.2. Phase d'exploitation

La duré prévisionnelle de l'exploitation de la nouvelle centrale électrique rades C est estimée à une vingtaine d'années.

Horizon temporel du projet

Phase	Années / Désignation	2013	2014	2017	2037	2036	2046	2047	2077
Le projet à MT	Mise en place de la centrale								
	Phase d'exploitation								
Le projet à LT	Entretien périodique afin de rallonger l'exploitation de 10 ans								
	Hypothèse 1 : renouvellement total de la centrale								
	Hypothèse 2 : Remise à l'état initial et réhabilitation milieu.								

3.4. DESCRIPTION DU TERRAIN ET DES INSTALLATIONS

3.4.1. Plan du terrain

Un plan de situation détaillé des lieux de la centrale à turbines à gaz est donné en annexe (voir annexe 1)

3.4.2. Plan des installations

Un plan de masse pour la centrale indiquant avec précision toutes les installations et équipements annexes faisant partie de ce projet (voir annexe 2)

3.4.2.1. La turbine à gaz

La turbine à gaz appelée aussi turbine à combustion ou parfois turbine à gaz de combustion (dénomination la plus précise), est une machine tournante thermodynamique appartenant à la famille des moteurs à combustion interne dont le rôle est de produire de l'énergie mécanique suite à la rotation d'un arbre, directement à partir de l'énergie cinétique des gaz produits par la combustion d'un hydrocarbure (fuel, gaz combustible...) qui subissent une détente dans une turbine. Le comburant, le plus souvent de l'air ambiant, est comprimé avant de pénétrer dans la chambre de combustion, en utilisant un compresseur rotatif entraîné par le même arbre que la turbine.

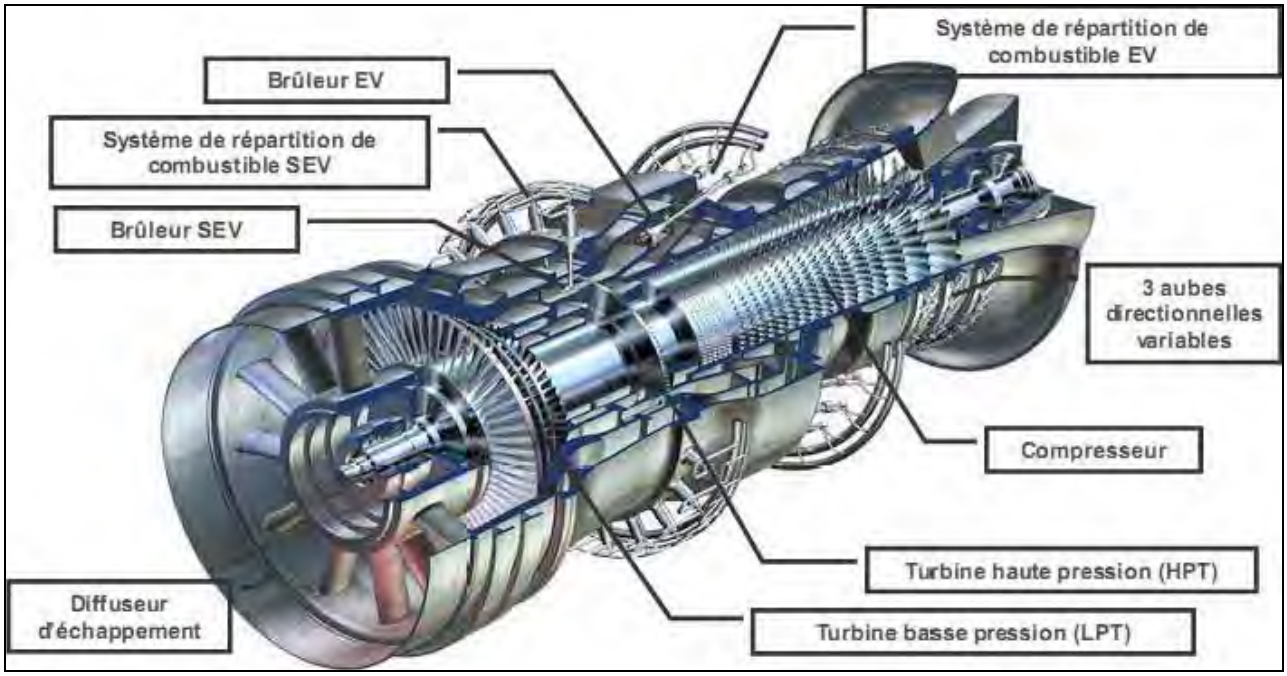


Figure 3 : schéma d'une turbine à gaz

3.4.2.2. La turbine à vapeur

La turbine à vapeur est constituée d'un grand nombre de roues (une centaine pour un modèle de puissance) portant des ailettes. La vapeur sous pression traverse d'abord les roues de petit diamètre

avant d'atteindre les roues de plus grand diamètre. La turbine tourne alors en entraînant l'alternateur qui lui est accouplé.

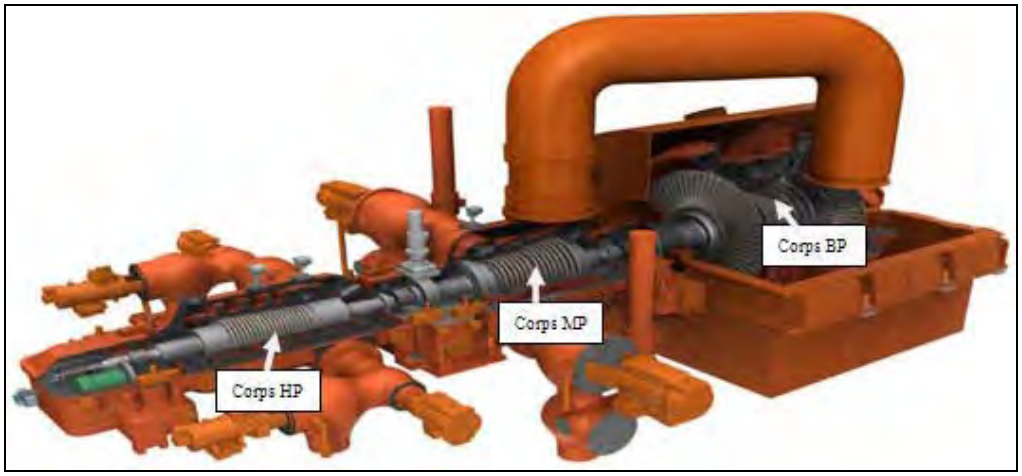


Figure 4 : Exemple de turbine à vapeur

3.4.2.3. L'alternateur

L'alternateur est une machine tournante destinée à produire une tension alternative sinusoïdale. Son fonctionnement est proche de celui d'une génératrice de bicyclette.

Les alternateurs sont couplés aux turbines à gaz et à vapeur.

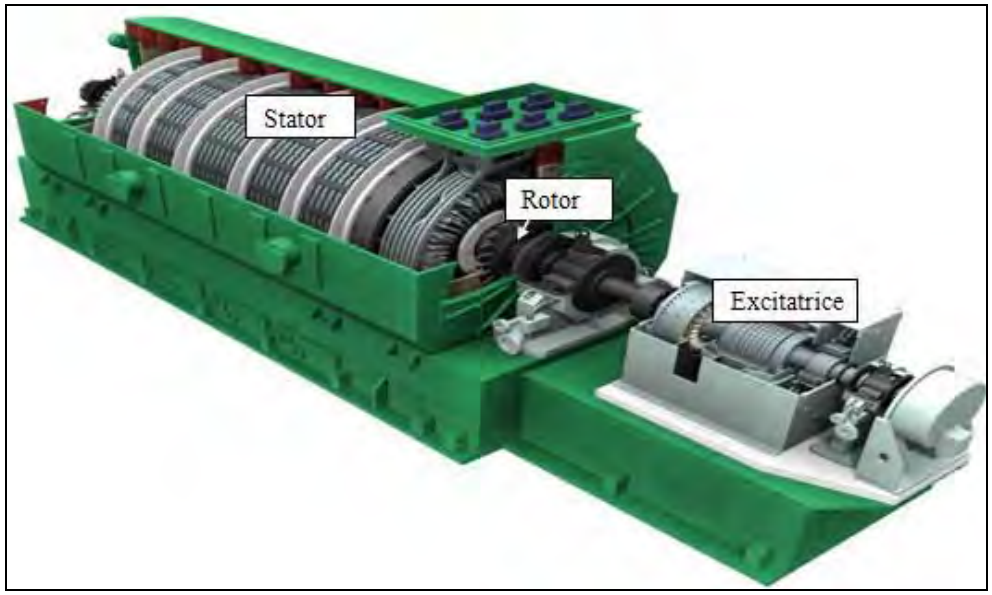


Figure 5 : Exemple type d'un alternateur industriel

3.4.2.4. Chaudière de récupération

La chaudière de récupération est un échangeur de chaleur qui permet de récupérer l'énergie thermique de l'écoulement de gaz chaud. Elle produit de la vapeur pour alimenter une turbine à vapeur. Une application usuelle pour une chaudière de récupération est dans la centrale électrique à cycle combiné, où les gaz d'échappement de la turbine à gaz alimentent la chaudière de

récupération pour générer de la vapeur qui alimentera la turbine à vapeur. Cette combinaison produit de l'électricité plus efficacement qu'une turbine à gaz ou une turbine à vapeur seule.

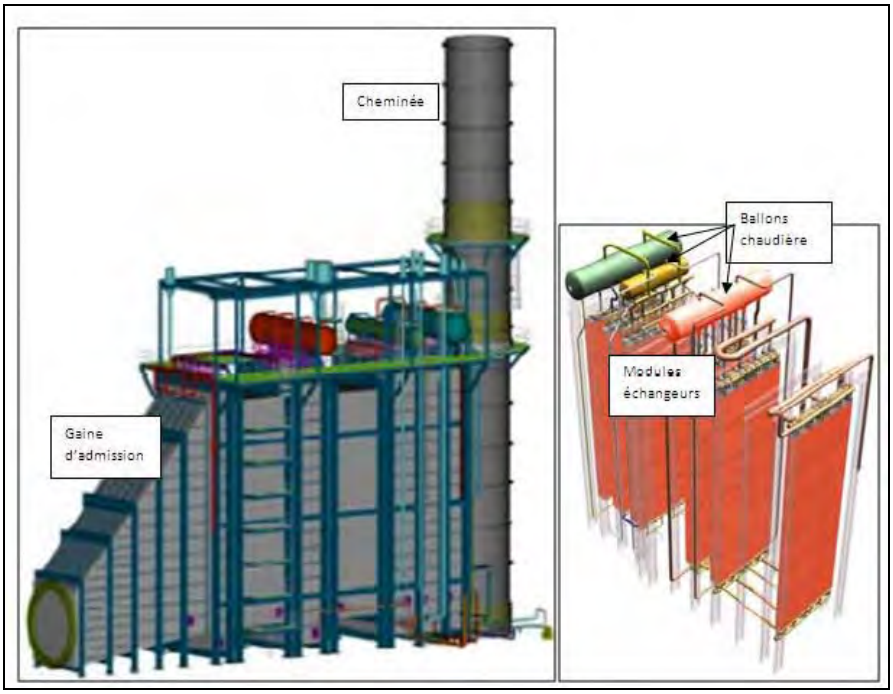


Figure 6 : Exemple de chaudière de récupération d'une centrale électrique

3.4.2.5. La cheminée

La cheminée est un ouvrage métallique conçu pour le dégagement des émissions atmosphériques (gaz, vapeur, poussières) issues des procédés de production d'électricité. Pour le cas de la nouvelle centrale de Rades C, la STEG a conçu une cheminée dont les dimensions (hauteur et diamètre) sont choisies en appliquant des modèles mathématiques bien adaptés à la capacité de production et aux environs du site du projet afin d'assurer une bonne dispersion des émissions atmosphériques de la centrale électrique et de ne pas gêner l'écosystème.

3.4.2.6. Le condenseur de vapeur

Le condenseur est un appareil dont la fonction principale est de condenser (transformation d'un gaz en liquide) de la vapeur à l'aide d'un fluide réfrigérant. La chaleur latente du corps est transférée dans le fluide réfrigérant, ce qui consiste en un changement de phase à température constante. Le fluide réfrigérant varie en fonction de la température de condensation du gaz : air, eau, saumure.

Les condenseurs sont souvent des échangeurs de chaleur à calandre et faisceau tubulaire. La condensation se fait presque systématiquement dans la calandre. On utilise généralement des tubes d'un centimètre de diamètre et de longueur comprise entre 2 et 6 mètres, avec un pas triangulaire ou un pas carré. Un des critères pour ces choix est souvent la perte de charge surtout pour des appareils travaillant à pression réduite.

3.4.3. Description des ateliers

Des ateliers sont prévus pour la centrale projetée ayant une superficie de l'ordre de 700 m^2 nécessaire pour l'entretien systématique des équipements électromécaniques.

3.4.4. Description des installations de stockage

Le gaz, utilisé comme combustible principal pour cette centrale, est brûlé directement dans la turbine à gaz. Il est livré par un gazoduc à une pression de 76 bars et un débit maximum de 100 000 Nm^3/h.

Le circuit d'alimentation en gas-oil comprend essentiellement :

- Un circuit de dépotage permettant le transfert du gas-oil des camions citernes au réservoir de stockage ;
- Un réservoir de 10 000 m^3 assurant le stockage du gas-oil ;
- Un circuit de transfert et d'alimentation en gas-oil pour la turbine à gaz.

3.4.5. Système de collecte d'eau

Les rejets de la chaudière et des installations annexes sont traités dans une fosse de neutralisation de grande capacité installée à proximité immédiate du poste de traitement de l'eau d'appoint. Elle est construite en béton recouvert d'un revêtement protecteur spécialement adapté aux produits à traiter (résine, matière plastique, etc.). Elle est divisée en deux parties par un mur maçonné formant déversoir. La première partie reçoit les effluents qui s'écoulent par gravité au moyen de tuyauteries spécialement prévues pour résister aux produits corrosifs véhiculés. Dans cette partie s'effectue la décantation des dépôts solides et la recirculation du liquide ainsi que l'injection de soude s'il y'a lieu.

Le liquide décanté et éventuellement traité par la soude se déverse dans la deuxième partie où il est brassé à l'air comprimé et additionné d'acide de manière à obtenir le pH désiré. Après contrôle du pH, une motopompe immergée évacue à l'égout les effluents dûment neutralisés en respectant les normes tunisiennes en vigueur et en particulier la norme NT 106 002.

La fosse de neutralisation est commune à la chaudière de récupération et au poste de traitement de l'eau d'appoint. Sa capacité est égale au triple de la contenance des circuits d'une chaudière soumise aux lavages périodiques.

Les purges de la chaudière et ceux du poste d'eau de démarrage et de fonctionnement normal sont récupérées après refroidissement et filtration pour un nouveau traitement et réutilisation dans le circuit eau vapeur.

Le rejet des eaux usées et des eaux sanitaires sont recueillis dans des fosses septiques de grande capacité spécialement aménagées à cette fin.

Du côté eau de mer, une injection de l'hypochlorite de sodium est prévue en amont de la station de pompage pour éviter la prolifération de la flore et de la faune marine. Une injection de bisulfite de sodium est prévue pour neutraliser les traces d'hypochlorite de sodium résiduelles avant rejet en mer.

L'eau de mer, circulant dans un circuit ouvert, permet de condenser la vapeur dans un condenseur approprié. La norme Tunisienne NT 106.02 intitulée « protection de l'environnement-rejet d'effluents dans le milieu hydrique » est respectée.

3.5. PRINCIPE DE PRODUCTION DE L'ELECTRICITE

Une production d'électricité en deux étapes

La centrale à cycle combiné utilise le gaz naturel comme combustible dans un système de production en deux étapes.

Une première turbine à gaz met l'alternateur en mouvement grâce à la combustion de gaz naturel pour générer de l'électricité dans un premier cycle.

Dans un deuxième cycle, la chaleur issue du premier cycle est récupérée au maximum pour générer de la vapeur qui fait tourner une seconde turbine, à vapeur, pour générer de l'électricité supplémentaire. La puissance totale est générée à deux tiers par la turbine à gaz et à un tiers par la turbine à vapeur.

La «combinaison» de ces deux cycles augmente le rendement électrique de la centrale qui se situe aux alentours de 58.5 %

3.6. DESCRIPTION DES PROCEDES

3.6.1. Procédé de fabrication

Au démarrage, l'alternateur servira pour la mise en mouvement de la ligne d'arbre.

L'air atmosphérique est aspiré, filtré puis dirigé à travers des gaines d'admission vers l'entrée du compresseur du groupe turbine à gaz. A la sortie du compresseur, l'air comprimé se mélange au combustible dans les chambres de combustion de la turbine à gaz où se produit la combustion du mélange en présence de l'oxygène de l'air.

Les gaz chauds venant des chambres de combustion de détendent dans les différents étages de la turbine. L'énergie cinétique de la détente se convertie en travail mécanique utile transmis aux rotors des turbines qui entraînent des alternateurs qui produisent de l'énergie électrique (centrale à cycle combiné).

Les gaz ainsi détendus restent à une température élevée, de l'ordre de 550°C s'échappent à travers une à travers une gaine pour atteindre la chaudière de récupération qui utilise l'énergie calorifique ainsi introduite pour transformer en vapeur surchauffée une eau préalablement réchauffée dans un ensemble d'échangeurs constituant la poste d'eau. Cette vapeur à haute caractéristiques thermodynamiques est détendue dans une turbine à vapeur où elle transforme son énergie thermique en énergie mécanique, elle-même convertie en énergie électrique via le même alternateur entraîné par l'ensemble turbine à vapeur et turbine à gaz.

La vapeur détendue s'échappe ensuite dans un condensateur, source froide, dans lequel règne un vide assez poussé et où elle se condense cédant les calories restantes à l'eau de mer prélevée par une pompe de circulation qui la rejette dans le canal de rejet après son passage à travers les tubes du condenseur. L'eau condensée est ensuite aspirée par une pompe d'extraction qui la refoule à nouveau dans le poste d'eau jusqu'à la bâche alimentaire , d'où elle est reprise par les pompes alimentaires puis refoulée dans les différents circuits de la chaudière après avoir traversé un ensemble de réchauffeurs.

L'eau décrit ainsi un cycle fermé, auquel un appoint est toutefois nécessaire pour compenser les pertes diverses du circuit.

3.6.2. Matières premières

Les turbines à gaz de Rades sont aptes à bruler du gaz naturel comme combustible principal et du gas-oil comme combustible de secours.

Le stockage du gas-oil utilisé comme combustible de secours pour la turbine à gaz est assuré par un réservoir de 10000m^3 installé dans un parc de stockage situé dans l'enceinte de la centrale.

L'approvisionnement de ce réservoir sera assuré par camion citerne le refoulant directement à l'intérieur du réservoir, soit au moyen de son propre équipement de pompage, soit au moyen des pompes de dépotage installées dans le local de gavage situé à proximité du parc de stockage de gas-oil.

Il est à préciser que la capacité du réservoir gas-oil a été déterminée pour assurer un fonctionnement en pleine charge de la turbine à gaz pendant une durée de 5 jours.

3.6.3. Source d'énergie

Les sources d'énergie utilisées pour cette centrale à cycle combiné sont le gaz naturel et le gas-oil comme combustible de secours.

Les caractéristiques limites et la composition chimique de ces combustibles sont données en annexe 3.

3.6.4. Consommation en combustibles

La consommation moyenne en combustibles par turbine à gaz est la suivante :

Combustibles	Gaz naturel	Gas-oil
Consommation	75 000 Nm^3/h	68 T/h

3.6.5. Capacité de production

La centrale à cycle combiné de Rades est prévue pour un fonctionnement en base. La production moyenne prévisible estimée pour cette centrale sera entre 2700 et 3200 GWh par an.

3.6.6. Système de contrôle et de sécurité

Un système de protection contre l'incendie est prévu dans cette centrale assurant la protection et la sécurité des équipements suivants :

- Transformateurs
- Alternateur et son compartiment
- Locaux électriques
- Chemins de câbles
- Groupe turboalternateur et leurs compartiments correspondants
- Système de production de mousse
- Bâtiment administratif et de gardiennage
- Poste gaz – ligne gaz
- Réservoir d'huile de lubrification des turbines
- Local et réservoir de stockage du gas-oil
- Chaudière et ses auxiliaires
- Atelier, magasin et garage existants

Ces systèmes comprennent trois types de protections à savoir :

3.6.6.1. Protection par CO2

Chaque local et chaque zone nécessitant une protection incendie automatique par CO_2 (essentiellement turbine à gaz, alternateur et salle de contrôle) est équipé par un système d'extinction fixe et autonome. Ce système de protection est du type noyade total du local.

3.6.6.2. Extincteurs portatifs et mobiles

Suivant le type de risque des zones à protéger, des extincteurs mobiles et portatifs sont installés dans la centrale.

3.6.6.3. Protection par eau

Il est prévu, pour cette centrale, un réservoir de stockage d'eau nécessaire pour satisfaire les besoins de la protection incendie du site et l'alimentation des sanitaires de la centrale muni de tous les accessoires nécessaires.

Le système d'eau incendie comprend un réseau fixe, conçu de façon à couvrir les emplacements sensibles à protéger et comprenant essentiellement les équipements suivants :

- Deux électropompes implantées de façon à éviter tous les risques d'indisponibilité.
- Un groupe motopompe Diesel
- Une électropompe à faible débit capable de maintenir la pression en tout point du réseau
- Un réservoir tampon
- Un ensemble de poteaux incendie adéquatement répartis sur le site
- Des postes incendie intérieurs dans la salle des machines et dans le bâtiment administratif

3.6.6.4. Protection par mousse

Outre le réseau d'eau équipé des bouches d'incendie placées au voisinage de l'aire de stockage du gas-oil, l'installation fixe de protection de cette zone contre l'incendie comprend essentiellement :

- Une cuvette de rétention autour du réservoir,
- Un système de refroidissement des robes du réservoir
- Un système de déversement de la mousse physique à l'intérieur du réservoir
- Un système de déversement de la mousse physique à l'intérieur de la cuvette de rétention

3.6.7. Circuit d'eau sanitaire

Il est prévu dans cette centrale un circuit de distribution d'eau sanitaire comprenant :

- Un skid avec 2 électropompes installées dans un local
- Un réservoir hydrophobe
- Les équipements sanitaires des différents locaux techniques, administratifs et sociaux.

3.7. BILAN MATIERE DU PROJET

3.7.1. Rejets hydriques

Trois types de rejets hydriques sont prévus pour cette centrale à cycle combiné à savoir :

- Rejet des eaux de chaudière et installations annexes
- Rejets des eaux sanitaires et des eaux pluviales
- Rejet d'eau de mer

3.7.2. Rejets atmosphériques

Les rejets atmosphériques sont représentés par les fumées émises par la cheminée de la centrale. Le volume des fumées dégagées est de l'ordre de 2410 T/h pour le groupe turbine à gaz.

La hauteur de la cheminée est calculée pour garantir les valeurs limites de la qualité de l'air définies par les codes et la réglementation Tunisienne en vigueur : NT 106.04 et le décret N°2010-2519 du 28/09/2010 et éviter toute recirculation des gaz d'échappement vers la machine. Toutefois, vu que la centrale est implantée dans une zone industrielle qui a un rejet atmosphérique important, la hauteur de la cheminée doit être, dans tous les cas supérieur ou égale à 85 mètres.

3.7.3. Rejets solides

Etant donné que les combustibles utilisés sont soit à l'état gazeux soit à l'état liquide, la combustion de ces derniers ne donne lieu à aucun dépôt solide.

3.7.4. Rejet des boues

Aucun rejet de boues n'est prévu par cette centrale.

3.7.5. Emissions sonores

Le matériel est conçu pour réduire au minimum les bruits de quelle nature qu'ils soient grâce notamment à des formes étudiées et des dispositifs appropriés. Le niveau moyen des pressions acoustiques émises par le groupe turboalternateur et leurs auxiliaires à considérer, à n'importe quelle charge, ne doit pas excéder un niveau de 85 dB(A) (référence 2.10^{-5} Pa) ; mesure étant faite avec un sonomètre normalisé sur la courbe de réponse en fonction de la fréquence dénommée A.

Le niveau moyen des pressions sonores garanti est relevé à 1 mètre de distance du contour de l'installation et à une hauteur de 1,5 mètre du sol et sans correction de l'environnement.

Pour l'ensemble des sources de bruit de la centrale, sauf prescriptions particulières, le niveau moyen des pressions sonores relevées à 1 mètre de distance du contour de l'équipement ou d'un ensemble

d'équipements à 1,5 mètre au dessus du sol ne doit pas excéder un niveau de 85 dB(A) (référence 2.10^{-5} Pa).

L'écart maximal de mesurage toléré sur le niveau garanti est de 2 dB(A). La méthode, de contrôle et de mesurage, doit être basée sur la norme ISO 3746.

3.7.6. Emissions de vibrations

**Pour le groupe turboalternateur :

Vibrations des paliers : En marche continue du groupe turboalternateur (conditions de fonctionnement thermiquement stable), l'intensité vibratoire, mesurée selon les conditions fixées par la norme ISO 10816, ne dépasse sur aucun des paliers et sur aucune des directions de mesure la valeur de la limite de zone A/B.

Vibrations d'arbre : En marche continue du groupe turboalternateur (conditions de fonctionnement thermiquement stable), l'amplitude des vibrations relatives en déplacement (Spk-pk) mesurée selon les conditions de la norme ISO 7919, ne dépasse en aucun point de mesure, la valeur de la limite de zone A/B.

**Pour l'ensemble des machines tournantes non alternatives :

Vibrations des paliers : L'amplitude de vibration, mesurée sur chaque palier ne dépasse pas la limite de zone d'évaluation « A/B » de la classe correspondante conformément à la norme ISO 10816.

Vibrations d'arbre : Le déplacement relatif maximal de l'arbre (Spk-pk) mesuré selon les conditions de la norme ISO 7919, ne dépasse en aucun point de mesure, la valeur de la limite de zone A/B.

**Machines tournantes alternatives :

Pour les machines tournantes alternatives telles que compresseurs, groupe électrogène, etc., l'amplitude des vibrations ne dépasse pas la limite de zone d'évaluation qualifiée A/B conformément à la norme ISO 10816.

3.8. ACCIDENTS /RISQUES ET SYSTEMES DE SUIVI / SURVEILLANCE

3.8.1. Accidents / risques

3.8.1.1. Phase de construction

Pendant la phase de construction, les risques d'accidents seront toujours présents, comme pour tous les travaux courants. Ces accidents pourraient survenir lors de :

- l'utilisation des engins et des camions,

- la manipulation des pièces lourdes,
- les travaux de construction métallique,
- les tests de mise en marche.

3.8.1.2. Phase de production

Lors de l'exploitation de la centrale, les risques majeurs qui pourraient se produire sont essentiellement :

- le détachement de quelques ailettes de la turbine ;
- l'apparition d'une fuite de gaz au niveau du poste de détente générant un incendie;
- un cas d'occurrence d'un sinistre ;
- l'éclatement d'un réservoir de Gas-oil et la contamination du sol ;
- un tremblement de terre.

3.9. LES INSTALLATIONS A USAGE COMMUN POUR TOUTES LES ETAPES DE LA CENTRALE DE RADES (A, B ET C)

Ce sont des installations qui seront utilisées dans les différentes étapes (existants A, B et dans le futur C) de la centrale de Rades. Parmi les principales installations qui seront à usage commun, on site :

- Le port d'aspiration d'eau de mer ;
- La station de dessalement de l'eau de mer.

3.9.1. Le port d'aspiration de l'eau de mer

Le port d'aspiration de l'eau de mer est un aménagement déjà existant depuis la mise en place de la centrale électrique de Rades (étape A). Il est conçu pour l'aspiration des eaux de mer utilisées dans les différentes étapes de production de l'électricité (refroidissement des équipements et le dessalement).

Donc la centrale électrique pompe ses eaux de refroidissement dans le canal de navigation par le biais d'un canal en terre qui a les caractéristiques suivantes:

-Longueur totale: 1500 m

-Section: trapézoïdale

-Pente des berges: 5/l

-Largeur du radier: 38 m

-Largeur du plan d'eau: 65.6 m

-Section mouillée: 143 m2

-Profondeur moyenne: 2.18 m

-Début: juste du côté ouest du bac de la Goulette

Figure 7: entrée de l'eau de mer

Le port d'aspiration est équipé par des groupes motopompes submergées permettant d'aspirer l'eau de mer, ainsi qu'une série de dégrilleurs permettant de protéger les équipements de pompage contre les apports solides des eaux aspirées (algue, déchets solides…).

Figure 8: Le Port d'aspiration de l'eau de mer de la centrale électrique de Rades

3.9.2. La station de dessalement d'eau de mer

elle comporte :

- -un poste de dessalement de l'eau de mer pour répondre aux besoins en eau douce (eau brute) de la centrale objet de cet Appel d'Offres;
- -Deux réservoirs de stockage d'eau brute (eau industrielle et eau incendie);
- -un poste de traitement d'eau brute (osmose inverse et déminéralisation) pour répondre aux besoins en eau déminéralisée de la présente centrale à cycle combiné ;
- -Deux réservoirs de stockage d'eau osmosée;
- -Deux réservoirs de stockage d'eau déminéralisée ;

Le fonctionnement du poste de dessalement et du poste de traitement d'eau doit être entièrement automatisé. Le poste de dessalement est une unité complète d'osmose inverse indépendante et autonome incluant un poste de filtration et des filtres à cartouches et un poste d'ultrafiltration. Il ne doit pas nécessiter la présence permanente d'agents de conduite.

Il assure la redondance nécessaire (2x100%) des chaînes de dessalement, d'osmose inverse et de déminéralisation de telle sorte à garantir un fonctionnement en continue et sans arrêt.

Les skids d'injection chimique relatifs au système de dessalement et déminéralisation seront bien aménagés dans un local à l'intérieur du bâtiment de traitement d'eau et pourvus de barrières de protection contre les jets accidentels.

3.9.2.1. Description de la station de dessalement d'osmose inverse

Compte tenu de la qualité de l'eau à traiter et des exigences qualitatives et quantitatives de l'eau à produire, la ligne de traitement comprend les étapes suivantes :

*Prise de l'eau de mer

Dans les installations de dessalement de l'eau de mer, en fonctionnement continu, il est important d'avoir une prise d'eau garantissant un bon fonctionnement tout en assurant une parfaite fiabilité.

Cette prise est effectuée par captage en prise ouverte avec filtration grossière sur tamis en inox.

Dans une prise d'eau en mer, les principaux risques de colmatage sont la précipitation de sels et la pollution organique. Pour cela, il est prévu une chloration choc qui permettra d'éviter tous ces problèmes.

L'eau brute est dirigée vers la station de dessalement par pompage. La régulation du débit est assurée par un variateur de fréquence par pompe asservie au niveau du stockage.

*Pre-Traitement Conventionnel

Le design de la station de dessalement dépend en grande partie de la qualité de l'eau à traiter. Plus le prétraitement est efficace, plus les unités de dessalement fonctionneront dans de bonnes conditions et les résultats influenceront dans le bon sens les coûts d'investissement, d'exploitation et de maintenance.

C'est pourquoi, il est essentiel de concevoir un prétraitement qui assure les meilleures conditions de fonctionnement et notamment :

- Prévenir la prolifération biologique ;
- Eliminer les colloïdes et les matières en suspension particulièrement présentes avec une prise d'eau ouverte.

Dans le procédé d'osmose inverse, l'eau traverse les membranes sous haute pression. Aussi, les matières en suspension peuvent colmater les membranes et compromettre l'obtention de la qualité et la durée de vie des membranes. Pour ces raisons, les membranes doivent être protégées par un prétraitement correct et efficace. Le prétraitement proposé est de type conventionnel avec

décantation et filtration multimédia pour éliminer la plus grande partie des particules. La filtration sur cartouches placée en aval permettra l'élimination des particules plus fines.

*Injection de Biocide

Comme expliqué plus haut, il est important de protéger la prise d'eau contre la prolifération biologique. C'est pourquoi il est indispensable de recourir à une injection de biocide au niveau de cette prise d'eau.

Ce biocide ne sera pas injecté en continu mais sous la forme de doses choc. La dose est déterminée afin de pouvoir obtenir un taux résiduel de chlore de 0,2 à 0,5 ppm. En effet, l'injection discontinue de biocide est nettement plus efficace qu'une injection continue parce que les bactéries et les micro-organismes deviennent plus résistant aux produits chimiques en cas d'injection continue. L'injection au niveau du prétraitement sera effectuée dans la tuyauterie pour bénéficier de la turbulence qui crée un excellent mélange.

*Coagulation, Floculation et Clarification

L'eau chlorée en provenance des pompes de transfert alimente une chambre de coagulation où les produits chimiques sont injectés et mélangés par un agitateur rapide.

Le but de cette coagulation est de neutraliser les charges superficielles des colloïdes qui rendent difficile leur sédimentation car elles se repoussent entre elles.

L'unité d'injection est conçue en fonction des règles de sécurités:

- Depuis la chambre de coagulation, l'eau est dirigée vers la chambre de floculation équipée d'un agitateur à vitesse lente. Cette agitation permet le mélange de l'eau préalablement coagulée avec un produit floculant afin de former le floc le plus homogène possible.
- Une fois que les colloïdes ont perdu leur charge, il est possible de les sédimenter mais leur vitesse est encore lente. C'est pour cette raison que nous devons ajouter un floculant dans l'eau coagulée. Le floculant utilisé est un produit organique à haut poids moléculaire qui grâce à sa structure permet de former des flocs qui ont une vitesse de précipitation plus élevée. Ces flocs intégrant les particules et les autres colloïdes peuvent être ainsi facilement décantés.
- Cette eau floculée alimente ensuite le décanteur à faible vitesse. Les dimensions du décanteur sont telles que les particules floculées ont le temps nécessaire de précipiter vers le compartiment situé à la partie inférieure. Le décanteur préconisé est de type lamellaire, c'est à dire qu'il est équipé de lamelles qui améliorent l'élimination des particules. Le

décanteur possède un système d'évacuation des boues formées dans l'appareil afin de les diriger vers le stockage approprié. L'eau décantée s'évacue par la partie supérieure grâce à deux canaux latéraux conduisant l'eau vers un petit compartiment de sortie.

*Stockage intermédiaire

En sortie du décanteur, l'eau clarifiée est dirigée vers le stockage grâce à une tuyauterie appropriée. Le stockage intermédiaire permet d'encaisser de légères fluctuations du débit sans perturber le procès.

Le stockage intermédiaire recevra également le rejet du deuxième osmoseur afin qu'il soit recyclé car il possède une bonne qualité physique et une faible minéralisation. Cela permet d'améliorer le taux de conversion global de l'installation.

*Pompes d'alimentation

Deux pompes de reprise sont prévues afin d'alimenter les filtres à sable puis l'installation de dessalement depuis le stockage intermédiaire.

Ces pompes fonctionneront en parallèle et seront conçues en inox super duplex, matériau capable de résister à long terme à l'eau de mer.

Ces pompes seront équipées de manomètre, pressostat, instrumentation et de la robinetterie nécessaires.

*Filtration sur Sable

Les filtres à sable permettront de retenir les particules résiduelles présentes dans l'eau décantée. Ces filtres sont de type multimédia dont le sable est capable de retenir des particules de dimension supérieure à 20µ.

Ces filtres sont des appareils sous pression, de conception simple et robuste, avec peu de partie mobile assurant ainsi une durée de vie très importante avec un coût de maintenance très bas. Les compartiments de l'eau à traiter et de l'eau traitée sont parfaitement séparés.

*Filtration sur Cartouches

Comme mesure de sécurité, un étage de filtration sur cartouches 5µ sera mise en place en amont des membranes d'osmose inverse. Ainsi toutes les particules > 5 microns seront retenues sur ces cartouches. Une partie des particules plus fines sera également retenue grâce à l'effet «barrière».

Le colmatage des cartouches sera détecté par un transmetteur de pression différentielle entre l'entrée et la sortie des filtres. Lorsque la valeur maximale sera atteinte, les cartouches en place seront enlevées et remplacées par des cartouches neuves.

*Dosage Produits Chimiques

Les membranes en polyamide n'ont qu'une très faible résistance au chlore contenu dans l'eau d'alimentation. Cela nécessite un contrôle constant surtout dans le cas d'une chloration choc intermittente. C'est pourquoi il est prévu un système de décoloration par injection d'un produit chimique dans la tuyauterie d'alimentation des pompes haute pression.

De plus, une injection de séquestrant est également prévue en amont des pompes HP. Ce séquestrant permettra d'éviter la précipitation de sels minéraux y compris dans la tuyauterie de rejet.

Il est également prévu une injection d'acide sulfurique afin d'éviter les précipitations de CaCO3. L'injection d'acide ne sera effectuée que si elle est nécessaire en fonction des conditions réelles de fonctionnement.

Ces produits chimiques seront injectés dans les conditions normales de fonctionnement mais, d'autres produits chimiques tels que l'acide citrique et autres détergents seront également utilisés lors des nettoyages.

3.10. DESCRIPTION DES DIFFERENTES PHASES DU PROJET

3.10.1. Phase de construction

La nouvelle centrale électrique de Rades C sera construite sur un terrain limitrophe à la centrale électrique existante (étape B). Les principales étapes de construction de la centrale sont détaillées ci-après:

3.10.1.1. Préparation du site

Les travaux préliminaires de préparation du site concerneront un nivellement général du terrain dont l'objectif est de le débarrasser de tout obstacle pouvant gêner la réalisation des travaux de construction.

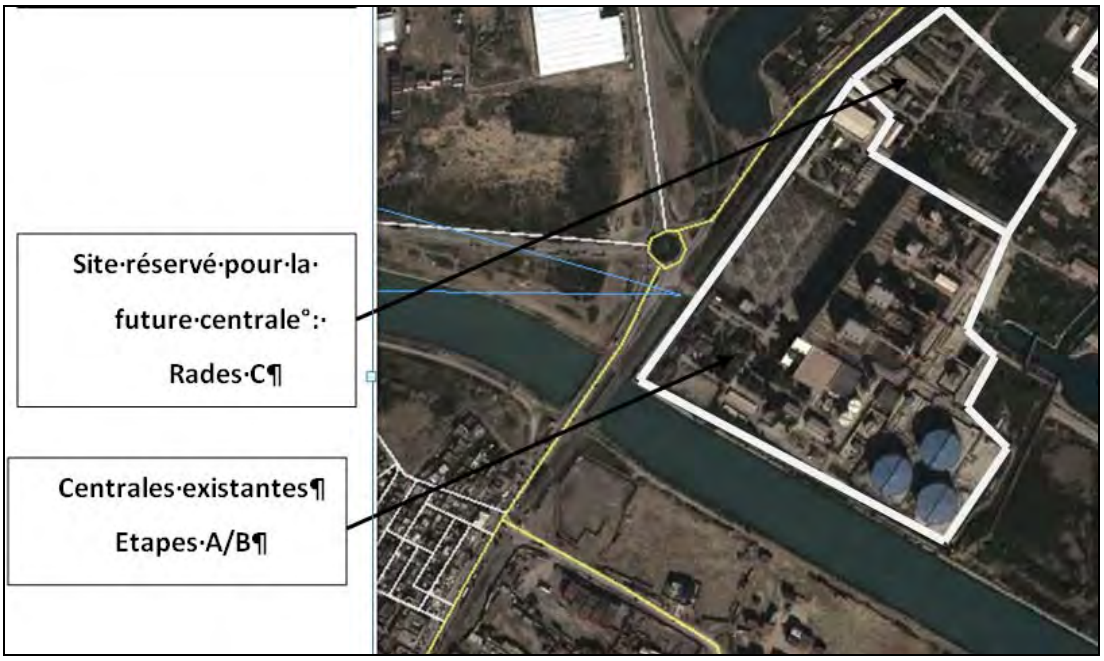


Figure 9: Site réservé pour la future centrale Rades C

Étant donné que le terrain alloué pour l'implantation de la centrale est un terrain de géomorphologie plate, il n'y aura pas des quantités importantes de terrassement.

La terre excavée sera constituée essentiellement par des végétations et du sable argileux.

Des bâtiments mobiles ou préfabriqués seront érigés sur le chantier pour les besoins du personnel et l'entreposage du matériel de l'entrepreneur et des sous traitants.

Une étude de sol du site d'implantation de la centrale sera menée pour permettre de choisir le type de fondation nécessaire pour les travaux de génie civil.

3.10.1.2. Travaux de génie civil

Les travaux de génie civil comprendront la construction de clôtures provisoires et définitives, la construction des massifs et des socles pour les équipements et la construction, en maçonnerie et charpente métallique, des bâtiments techniques et administratifs.

L'exécution de ces travaux nécessitent des engins tels que : les bulldozers, les niveleuses, les pelles mécaniques, les grues fixes ou mobiles, les bétonnières, etc.

3.10.1.3. Travaux de montage

Les travaux de montages comprennent essentiellement la réalisation des ouvrages chaudronnés, le montage des équipements, les travaux de câblage, les travaux de tuyauterie, etc.

3.10.1.4. Tests et essais de mise en service

**Tests et essais réglementaires*

Pendant les différentes phases de la réalisation de la centrale, plusieurs essais et inspections seront effectués afin de s'assurer de la conformité des travaux et du matériel aux spécifications et exigences du projet. Ceux-ci comprennent notamment :

- Les essais réglementaires des travaux de génie civil par un bureau de contrôle de travaux ;
- Les essais des matériaux utilisés pendant la phase de construction ou pour la fabrication des équipements et qui seront justifiés par des certificats matières ;
- Le contrôle par ressuage ou par radiographie des soudures des tuyauteries selon leur utilisation ;
- Les épreuves hydrauliques de tuyauteries et des équipements fonctionnant sous pression ;
- Les tests de branchement électrique de tous les instruments

**Mise en service*

Lors de la mise en service de la centrale, les performances des équipements unitaires ou de la même section seront vérifiées dans des conditions nominales de fonctionnement.

**Tests de performance*

Ces tests porteront sur les performances techniques et environnementales de la centrale, aux conditions nominales de fonctionnement de celle-ci et aux différentes configurations de marche. Ils seront réalisés sur une période contractuelle de plusieurs jours, selon des procédures établies à l'avance entre le Maître d'ouvrage et le Contractant. La réception provisoire de la centrale sera prononcée une fois que toutes les performances attendues seront atteintes et qu'aucune réserve majeure empêchant le respect de ces performances pendant l'exploitation de la centrale n'aura été constatée par le maître d'ouvrage.

A la fin de la période d'essai, l'unité sera réceptionnée et remise aux exploitants de la STEG.

3.10.2. Phase d'exploitation

3.10.2.1. Introduction

Le cycle combiné consiste à récupérer l'énergie thermique des gaz très chauds à l'échappement de la turbine à combustion, pour produire dans une chaudière de récupération de la vapeur utilisée pour alimenter un groupe turbo-alternateur à vapeur. Le résultat permet donc une augmentation notable du rendement énergétique de la centrale.

Les centrales à cycle combiné comprennent deux types :

- Centrale à un seule alternateur dont les deux turbine sont montées sur le même arbre (configuration « mono-arbre » ou « single-shaft »),
- Centrale à double alternateurs (configuration "multi-arbres/bi-arbre" ou "multi-shaft") ; le cas de la nouvelle centrale de Rades C

3.10.2.2. Procédés de production de l'électricité

Au démarrage, l'alternateur servira pour la mise en mouvement de la ligne d'arbre.

L'air atmosphérique est aspiré, filtré puis dirigé à travers des gaines d'admission vers l'entrée du compresseur axial du groupe.

A la sortie du compresseur, l'air comprimé se mélange au combustible (gaz naturel ou gas-oil comme combustible de secours) dans les chambres de combustion de la turbine à gaz où se produit la combustion du mélange.

Les gaz chauds venant des chambres de combustion se propagent et traversent les différents étages de la turbine où ils se détendent. L'énergie cinétique de la détente se convertie en travail utile transmis au rotor de la turbine à gaz qui entraîne un alternateur produisant de l'énergie électrique.

Les gaz ainsi détendus à température élevée d'environ 630°C s'échappent à travers une gaine pour atteindre la chaudière de récupération qui utilise l'énergie calorifique ainsi introduite pour transformer en vapeur surchauffée une eau préalablement réchauffée dans un ensemble d'échangeurs constituant le poste d'eau. Cette vapeur à hautes caractéristiques thermodynamiques est détendue dans une turbine à vapeur où elle transforme son énergie thermique en énergie mécanique, elle-même convertie en énergie électrique via un alternateur entraîné par une turbine à vapeur.

3.10.2.3. Procédés de production de l'eau dessalée

**Concept Général d'osmose inverse*

Le procès d'osmose inverse est le développement du phénomène naturel d'osmose selon lequel sont basée la plupart des réactions biologiques naturelles.

Si une membrane semi-perméable sépare deux solutions de différentes concentrations en salinité, afin de maintenir un état d'équilibre, l'eau passera de la solution la moins concentrée vers celle qui est plus concentrée. La différence de niveau constatée représente la pression osmotique.

A l'inverse, si l'on pressurise la solution concentrée, on inverse le flux naturel et on assiste au phénomène d'osmose inverse

**Membranes à enroulement spiralé*

Dans un enroulement spiralé, deux membranes plates sont séparées par un collecteur de perméat. Cet ensemble est scellé sur trois cotés, le quatrième reste ouvert pour autoriser la sortie du perméat. Un espaceur alimentation/rejet est ajouté à l'assemblage ci-dessus. Un certain nombre de ces assemblages sont ainsi constitués et enroulés autour d'un tube plastique perforé destiné à la collecte du perméat provenant des différents assemblages. Les membranes à enroulement spiralé ont généralement un mètre de longueur et 20 centimètres de diamètre.

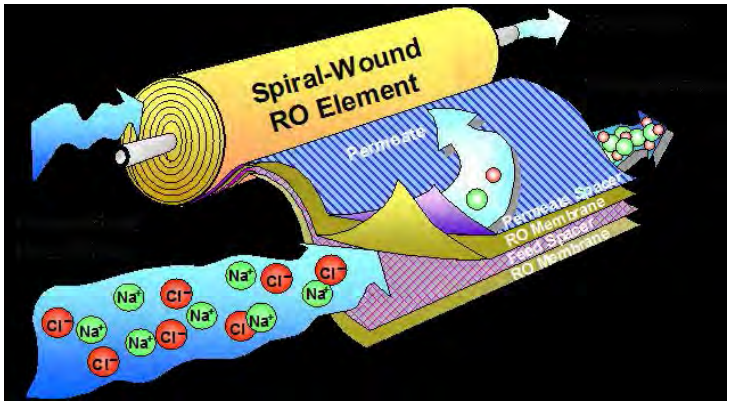


Figure 10: Membranes à enroulement spiralé

Le flux alimentation/rejet respecte une ligne droite à travers la membrane depuis l'admission de l'eau à traiter jusqu'à l'extrémité opposée côté rejet, en circulant de façon parallèle le long de la surface de la membrane. L'espaceur produit une turbulence réduisant ainsi la polarisation de concentration. Cette polarisation est contrôlée par limitation du taux de conversion de 10 à 20 % par élément de membrane.

Toutefois, le taux de conversion est fonction de la longueur du flux alimentation/rejet. C'est pourquoi, afin de travailler avec un taux de conversion acceptable, les membranes à enroulement spiralé sont mises en œuvre dans des tubes de pression contenant de 3 à 7 membranes connectées en série. Le rejet du premier élément devient l'alimentation du second et ainsi de suite.

Le rejet du dernier élément sort du tube de pression pour être dirigé vers la collecte de rejet. Le perméat de chaque élément alimente le collecteur central et sort du tube de pression par un collecteur commun. Un tube de pression de 4 à 6 membranes peut travailler à un taux de conversion de 50% dans des conditions normales de fonctionnement. Des joints spécifiques interdisent le mélange des différents flux.

Les membranes à enroulement spiralé sont généralement fabriquées à partir de fines membranes composites. Ce film composite comprend une fine couche de polyamide fixée sur un support plus épais de différents polymères.

Les principaux paramètres qui régissent le fonctionnement d'une unité d'osmose inverse sont :

- La température qui influence les performances de la membrane ;
- Le débit de production qui dépend de la pression appliquée et de la température de fonctionnement ;
- Le taux de conversion qui dépend des caractéristiques de la membrane et de l'eau d'alimentation ;
- La pression nette appliquée effectivement sur les membranes

Logiquement, le facteur déterminant de ces paramètres est la qualité de l'eau à produire en fonction de l'analyse de l'eau à traiter.

**Unité d'Osmose Inverse*

Le flux d'eau de mer filtré à haute pression passe à travers les membranes d'osmose inverse afin de réduire la concentration en sels minéraux. Deux flux sont ainsi obtenus, d'un côté le perméat et de l'autre le concentrât (le rejet).

**Le système de Pompage*

Les différents systèmes de pompage sont constitués de trois principaux éléments :

- Pompe haute pression ;
- Pompe de surpression ;
- Echangeur de pression.

**Poste de dessalement et traitement d'eau pour la Centrale Electrique à Cycle Combiné*

Les circuits de dessalement et de traitement d'eau assurent les besoins en eau douce (brute) et en eau déminéralisée de la nouvelle centrale ainsi que les besoins en eau douce (brute) de la centrale existante .

Les composants formant ces circuits sont notamment :

- Deux pompes de reprise d'eau de mer ;
- Un poste de filtration constitué de filtres à sable et de filtres à cartouches (deux chaines de filtration en parallèle, le débit d'eau de lavage des filtres est de 3,5 m3/h pour une chaine) ;
- Une station de dessalement d'eau de mer par osmose inverse (SWRO) constituée de deux lignes (chaines) identiques
- Deux réservoirs d'eau brute (douce);

- Une station de dessalement des eaux brutes par osmose inverse (2ème stade BWRO) constituée de deux chaines identiques
- Un poste de déminéralisation constituée de deux chaines identiques d'échangeurs d'ions à lit mélangé dont une de service et l'autre disponible ou en régénération
- Deux réservoirs de stockage d'eau déminéralisée
- Les moyens de manutention, de chargement et de déchargement des produits chimiques ;
- Les équipements de la centrale-commande de toute l'installation.

CHAPITRE 4. ANALYSE DE L'ETAT INITIAL DE SITE DU PROJET ET DE SON ENVIRONNEMENT

L'analyse de l'état initial est basée sur la synthèse bibliographique et la collecte de certaines données sur site. Elle vise la reconnaissance des caractéristiques des milieux biophysique et humain pour pouvoir évaluer leurs sensibilités et leurs aptitudes à l'aménagement projeté.

4.1. LOCALISATION DU SITE

Le site candidat se trouve dans la région de Ben Arous à 10 Km de Tunis.la nouvelle centrale de Rades C est implantée dans l'enceinte du centre de production d'électricité existant située sur le littoral nords du pays, au fond du golfe de Tunis et au sud de port de la Goulette.

L'analyse du milieu naturel du gouvernorat de Ben Arous, composante importante du territoire de la région de Tunis, requiert la prise en compte des caractéristiques du site régional plus large dont il fait partie.

Ainsi, toute la région s'ouvre sur le golfe de Tunis, bordée par des plages sablonneuses et rocheuses. La vallée de la Medjerda au Nord et celle de l'Ouest Méliane au Sud constituent des éléments déterminants du milieu naturel régional, baigné par un climat méditerranéen semi aride.

Le présent chapitre, présente et analyse les spécifiques physiques du gouvernorat qui se compose d'une variété de reliefs caractérisant l'ensemble de la région de Tunis: les plaines, les collines, les cuvettes, les lacs, les zones humides, bordées par la côte et la mer.

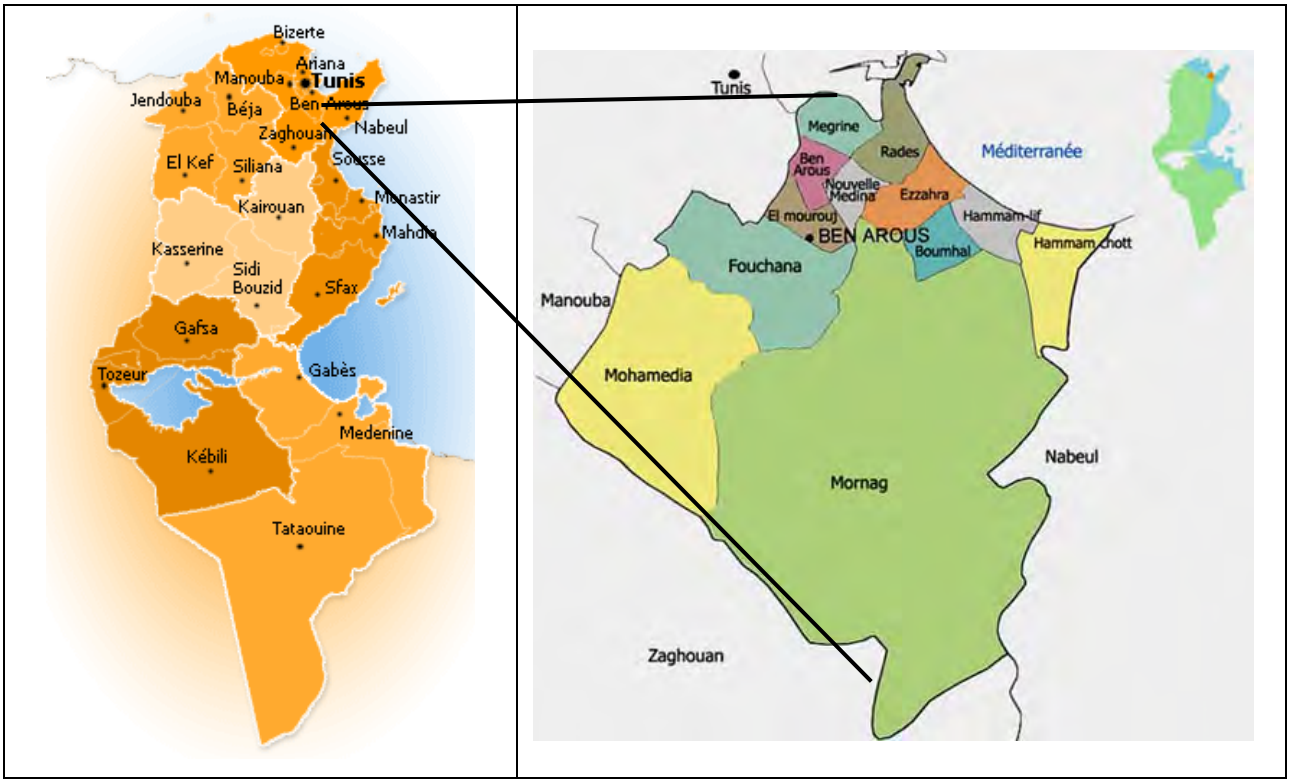


Figure 11 : Situation de Ben Arous

Figure 12 : Pont à haubans qui relie La Goulette à la zone portuaire de Radès, le port et, au fond, les centrales électriques à turbine à gaz et à cycle combiné

Figure 13 : Plan de situation de la centrale de Rades

4.2. TOPOGRAPHIE

Le site naturel du Grand Tunis est structuré autour de trois zones humides et d'une double couronne de collines et de montagnes du Tell du Nord Est.

Ce système se décompose comme suit:

- A l'Ouest, les plaines de Mornaguia et de la Manouba s'étendent autour de sebkhat Séjoumi et de Djebel Ammar.
- Au Nord, les plaines de la Soukra et l'Ariana s'étalent entre les hauteurs de Djebel Ennahli (175 m), la sebkha de l'Ariana et le lac de Tunis.
- Au Sud, dans le gouvernorat de Ben Arous, les plaines de Mornag et Fouchana, drainées par l'oued Méliane et l'oued El Hammam, s'étalent à partir des hauteurs du Djebel Boukornine (507 m) et Djebel Ressas (805 m).

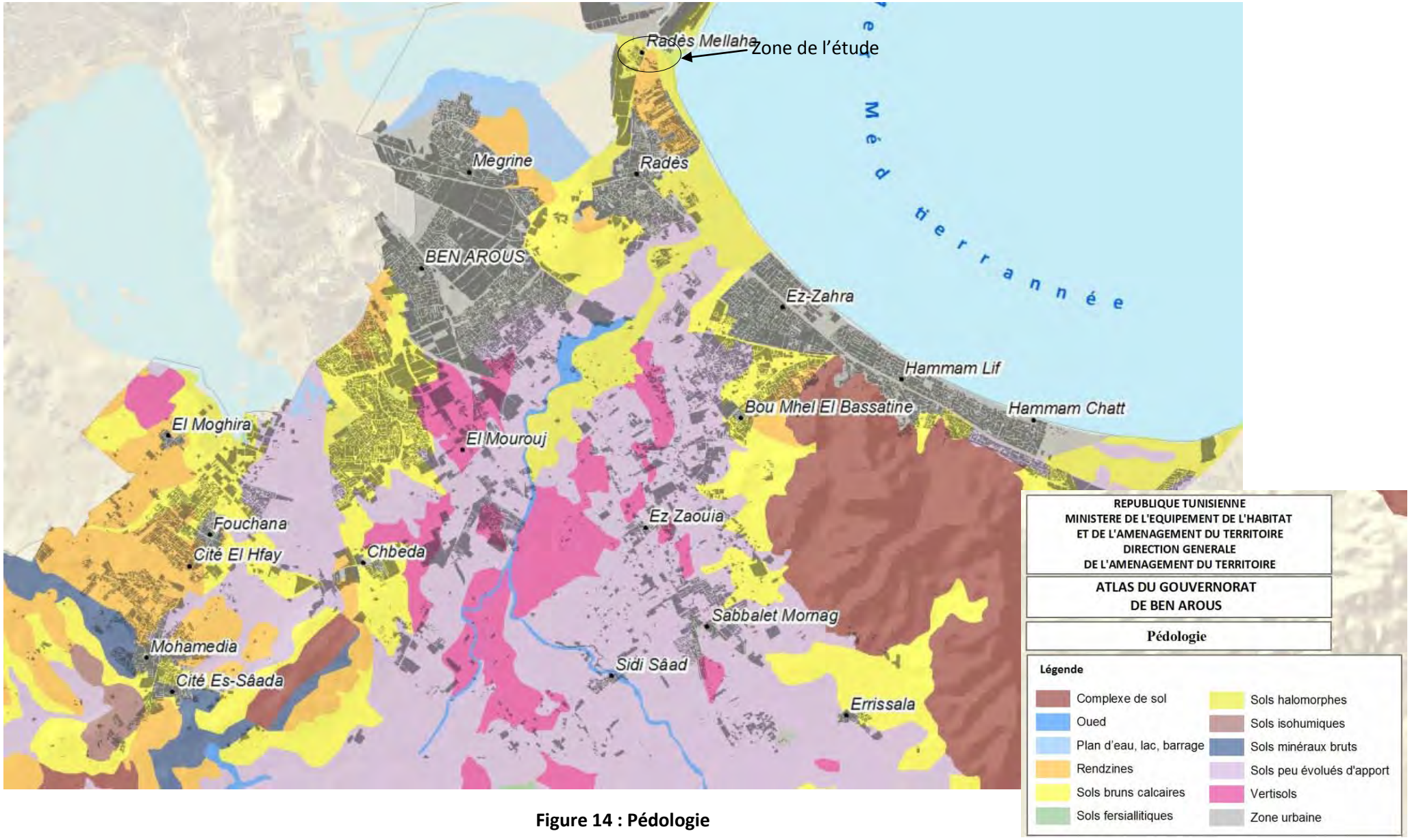


Figure 14 : Pédologie

4.3. LE CADRE GEOLOGIQUE

Implantée à l'extrémité Nord Est de la dorsale le site du Grand Tunis se caractérise par de nombreux effondrements provoqués par un réseau de failles à la fin de l'ère tertiaire. Ces effondrements s'identifient aux grands bassins de sédimentations: vallée de la Medjerda, lac de Tunis, Sebkhat Séjoumi et la plaine de l'oued Méliane au Sud dans le gouvernorat de Ben Arous.

En outre ces effondrements ont généré les sommets de Jebel Ressas et du Boukornine, composés par des calcaires du jurassique et du crétacé.

Ainsi, le relief de la région, formé de pressions subsidentes et de petites collines d'origine structurale, est marqué par un système de failles majeures et de nombreux accidents. La principale plaine du gouvernorat de Ben Arous, celle de Mornag est constituée de dépôts du quaternaire continental.

4.4. L'HYDROGRAPHIE

La région de Tunis avec ses composantes physiques (golfe et reliefs) est structurée par trois cuvettes qui captent les eaux pluviales des plaines et des hauteurs environnantes, à savoir le lac de Tunis, les sebkhas de l'Ariana et de Séjoumi.

Deux grands oueds coulent dans les plaines, au Nord, l'oued Medjerda, et au Sud l'oued Méliane et son affluent l'oued El Hammam.

Principal fleuve du gouvernorat de Ben Arous, l'oued Méliane se déverse dans la mer à la hauteur de la commune de Radès à proximité de la cité olympique.

L'oued qui prend sa source aux Djebel Bargou et Mansour draine un bassin versant d'environ 2000 km² et s'étend sur une centaine de kilomètres.

Les eaux de l'oued jadis dévastatrices ont été maîtrisées par l'édification d'un barrage à Bir M'chergua permettant la protection du bassin aval de l'oued contre les inondations et les crues générées par les fortes précipitations épisodiques.

Le système hydrographique de la zone Sud, structuré autour de l'oued Méliane se compose de nombreux petits oueds et affluents: oued El Hammam, oued Ben Aissa, oued El Bakbaka, oued Skhira, oued El Gsab et oued El Boul.

Ces oueds coulent entre les monts Boukornine et Djebel Ressas dans la plaine de Mornag pour se déverser dans l'oued Méliane à travers son affluent l'oued El Hammam.

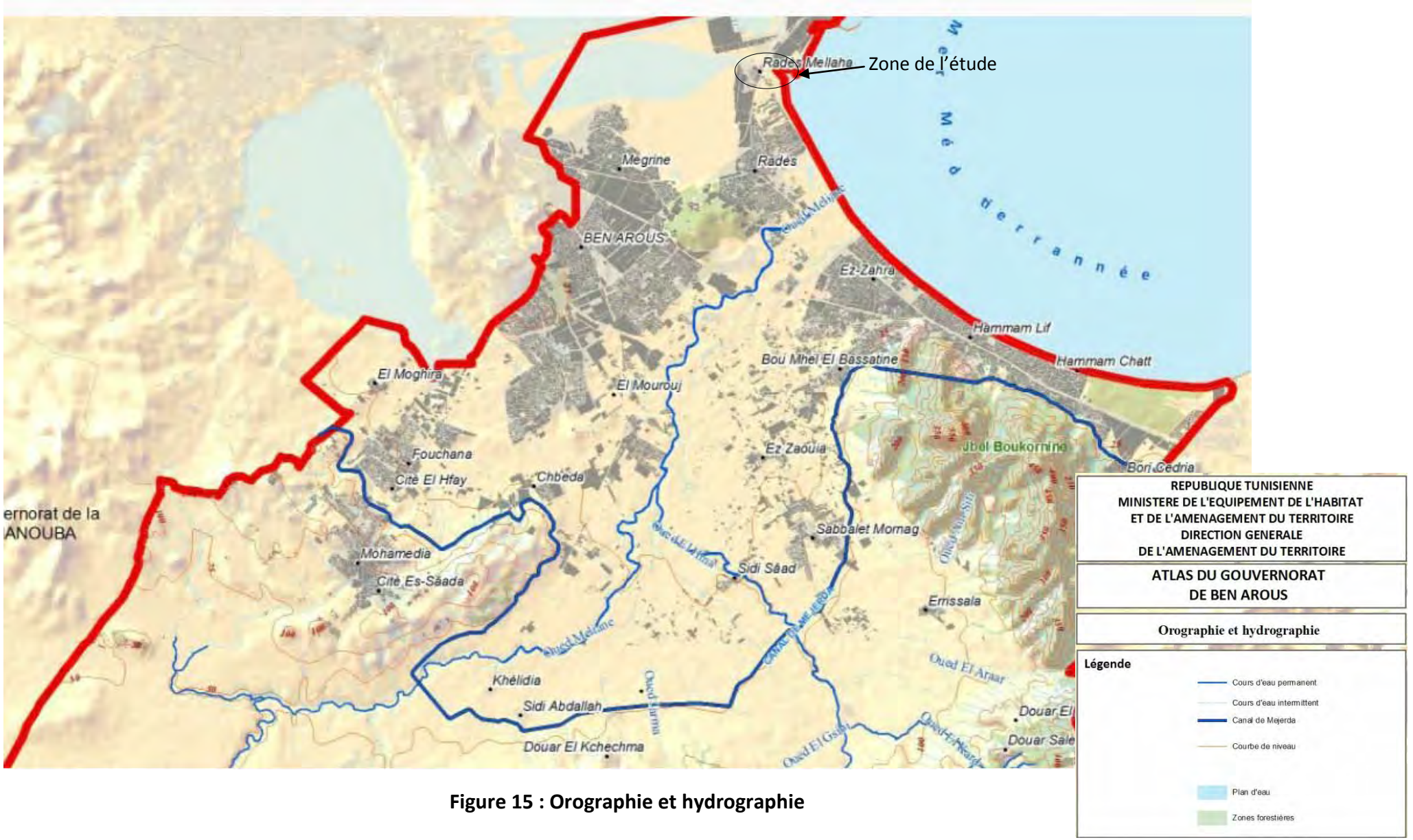


Figure 15 : Orographie et hydrographie

4.5. LE CLIMAT

4.5.1. Le régime pluviométrique:

Le régime des précipitations se caractérise par son irrégularité, pluvieux en hiver et sec en été avec une moyenne annuelle de l'ordre de 470 mm, réparti sur une centaine de jours sur les mois d'Octobre à Mars. Le mois le plus arrosé est Octobre avec une moyenne de 66,1 mm et le moins arrosé est le mois de juillet qui ne reçoit que 2,3 millimètres. Les pluies supérieures à 50 mm sont enregistrées durant les mois de Janvier, Février, Octobre, Novembre et Décembre.

Les mois de Janvier, Février, Mars et Décembre comptent le plus grand nombre de jours de pluies respectivement de 10, 11, 12 et 13 jours en moyenne.

A l'inverse les mois d'été, Juillet et Août n'enregistrent en moyenne qu'une à deux journées de pluies.

Mois	Précipitation moyenne (mm)	Nombre moyen de jours de pluies
Janvier	59.3	12
Février	57.2	11
Mars	46.7	10
Avril	37.8	8
Mai	22.6	5
Juin	10.4	3
Juillet	2.3	1
Août	6.7	2
Septembre	36.0	5
Octobre	66.1	9
Novembre	53.7	9
Décembre	63.1	13
Moyenne Annuelle	38.4	88

4.5.2. Tableau 2 : Les données sur les précipitations dans le Grand Tunis (INM)

4.5.3. Le régime thermique

Les moyennes des températures varient entre 11,4°C en hiver et 26,1°C en été avec toutefois des pointes minimales relevées en janvier (-1,7°C) et des températures maximales enregistrées au mois Août 46,8°C. Ainsi la température oscille fortement entre l'hiver et l'été sans marquer parfois de transition au printemps.

Mois	Température moyenne mensuelle
Janvier	11.4
Février	11.9
Mars	13.2
Avril	15.6
Mai	19.3
Juin	23.1
Juillet	26.3
Août	26.8
Septembre	24.3
Octobre	20.3
Novembre	15.9
Décembre	12.4
Moyenne	18.375

Tableau 3 : Les températures moyennes mensuelles dans la région de Tunis (INM 2007)

4.5.4. Humidité et Evaporation

Mois	Région de Tunis		
	06h	12h	18h
Janvier	86	69	83
Février	86	64	78
Mars	86	61	76
Avril	87	61	75
Mai	82	55	68
Juin	78	51	63
Juillet	72	46	60
Août	80	48	64
Septembre	85	54	71
Octobre	88	60	74
Novembre	88	65	81
Décembre	86	67	82

Tableau 4 : L'humidité dans le Grand Tunis (INM 2007)

A l'instar de l'humidité, l'évaporation est assez élevée notamment en période estivale et atteint 208 mm en juillet. Les moyennes mensuelles enregistrées varient de 67 mm au mois de janvier à des pointes dépassant les 200 mm en juillet - Août.

Mois	Grand Tunis
Janvier	67
Février	69
Mars	86
Avril	107
Mai	141
Juin	173
Juillet	208
Août	190
Septembre	139
Octobre	105
Novembre	82
Décembre	70

Tableau 5 : Les moyennes mensuelles d'évaporation dans le grand Tunis

4.5.5. Le régime du vent

Les vents dominants sont généralement du secteur Ouest à Nord Ouest et du secteur Est se répartissant par saison comme suit:

- En hiver et en automne, ces vents sont du secteur Ouest avec des tendances Nord Ouest et Sud Ouest;
- Au printemps, les vents dominants sont du secteur Nord Ouest avec des tendances Est et Nord Est;
- En été, ces vents sont du secteur Est avec des tendances Nord Est et même Nord Ouest.

Les vents du Sud, le sirocco de Sud Ouest et Sud Est fréquents en été contribuent à la hausse des températures en été entre Juin et Août

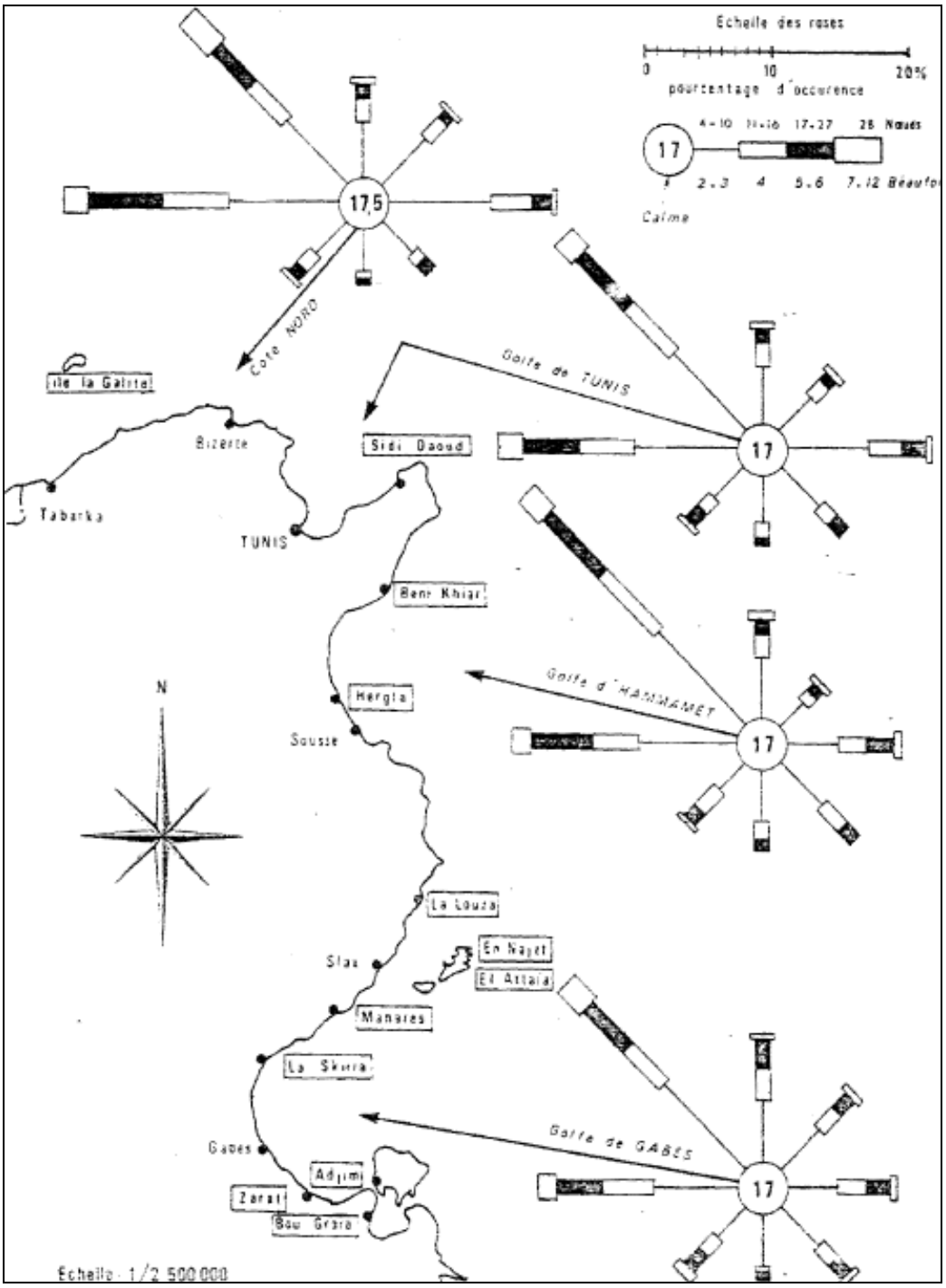


Figure 16 : statistiques des vents annuels aux larges des côtes tunisiennes

4.6. LES PARCS NATURELS DU GOUVERNORAT DE BEN AROUS

4.6.1. Parc national du Boukornine

Créé en 1987. Situé dans le gouvernorat de Ben Arous, à 18 km de Tunis. C'est un parc péri-urbain à la lisière de la ville de Hammam-Lif. Superficie 1 939 hectares.

Milieu naturel représenté : djebel/montagne

Flore

Quelques espèces rares comme le cyclamen de Perse ou des tulipes sauvages. Treize espèces d'orchidées dont certaines qu'on ne rencontre que sur ce site.

Faune

On y rencontre des mammifères comme le sanglier ou le chacal. Mais aussi des porcs-épics et différentes tortues terrestres.

Les falaises accueillent un grand nombre de rapaces.

4.7. LE MILIEU MARIN ET COTIER

Blottie au fond d'un golfe portant son nom, la région de Tunis a été, de tout temps, conditionnée par cette implantation aussi bien sur le plan économique (port, ouverture vers l'extérieur) que sur le plan urbain (occupation littorale).

Cette façade maritime appartenant à la mer méditerranée, s'étend du Cap Farina au Nord du Cap Bon et s'étend sur une centaine de kilomètres. Au fond du golfe de Tunis se situent les ports de commerce de Tunis, La goulette et Radès, le port de plaisance de Sidi Bou Saïd et la marina de Ghammarth

Du Nord au Sud, la forme de la côte est généralement basse avec toutefois des falaises au niveau de Gammarth et de Sidi Bou Saïd.

Le fond marin du golfe est couvert d'herbiers composés généralement de trois espèces végétales courantes en méditerranée: Cycomodocées, Posidonies et Caulerpes constituant des poches d'abris pour la faune marine.

Dans ce golfe bien abrité, les marées ont un caractère semi diurne: comptant deux pleines mers et deux basses mers par jour de hauteur variable dont l'amplitude moyenne est de l'ordre de 0,50 mètre.

	Marée Montante	Marée Descendante		
	Direction	Intensité	Direction	Intensité
Cap Gammarth – La Goulette	N.O	8 à 10	E.S.E	40 à 50
Baie La Marsa	N.W	8 à 10	S.E	8 à 10
La Goulette	N.S	-	S.N	-
Cap Salambo - Carthage	S.N	4 à 5	N.S	4 à 5
Radès Méliane	L côte	3 à 10	II côte	-
Hammam-Lif	L côte	20 à 40	II côte	-

Tableau 6 : Les courants littoraux dans le golfe de Tunis (INM 2007)

Malgré l'occupation urbaine assez prononcée, la côte abrite quelques dunes littorales tantôt anciennes, tantôt vives abritant des forêts, Gammarth au Nord et Borj Cédria au Sud, présentant des coupures naturelles dans un littoral fortement investi aussi bien au Nord (La Marsa, La Goulette), qu'au Sud (Radès, Ezzahra, Hammam-Lif et Hammam-Chatt).

4.7.1. Présentation du golfe de Tunis: Situation géographique

Le golfe de Tunis est situé au Nord-Est de la Tunisie, entre les deux parallèles Nord 36°42' et 37°10' et les deux méridiens Est 10°10' et 11°5'

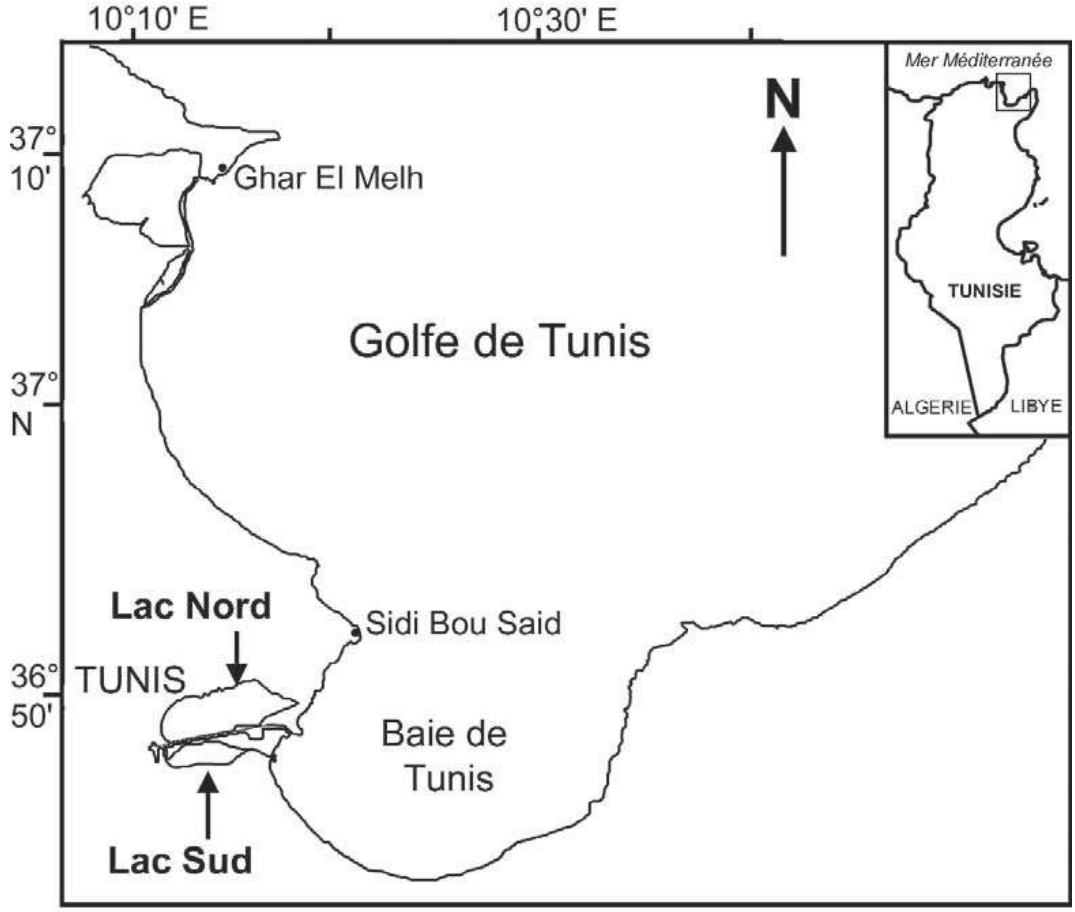


Figure 17:: Situation géographique du golfe de Tunis (Jouini et al., 2005)

Le golfe de Tunis s'étend sur une surface totale d'environ 1500 km2. Sa limite géographique au Nord est représentée par l'axe qui joint le Cap Farina (Sidi Ali El Mekki) à Ras Adar (extrême nord du Cap Bon)

Sa frontière marine est située à environ 200 km Sud-Ouest de la Sicile et est limitée, du côté Nord par le canal Siculo-Tunisien.

De part sa position charnière entre les bassins occidental et oriental de la Méditerranée, le golfe de Tunis occupe une place majeure, non seulement en ce qui concerne l'écosystème marin du Nord de la Tunisie, mais, aussi, et surtout, en ce qui concerne l'ensemble de la Méditerranée.

La Baie de Tunis (ou le petit golfe) est une partie du golfe qui, se situant à son fond, est relativement abritée. Elle est limitée par la zone côtière allant de Cap Carthage (pointe de la petite montagne de Sidi Bou Saïd) à Ras El Fartas (point situé à quelques kilomètres du Nord de Korbous) et occupe une surface totale d'environ 355 Km2.

Figure 18: Etendue de la zone d'étude : Le golfe de Tunis (*GoogleEarth*, 2012)

4.7.2. Bathymétrie du golfe de Tunis

Les données bathymétriques que nous allons utiliser dans le cadre de ce travail sont celles fournies par l'Office de la Topographie et de la Cartographie

Cette carte nous montre qu'au niveau de ses côtes, le golfe de Tunis est de faible profondeur. Plus au large, le golfe peut atteindre des profondeurs de plus de 100 m.

La baie de Tunis, par contre, est caractérisée par des profondeurs relativement faibles ne dépassant pas 30 mètres.

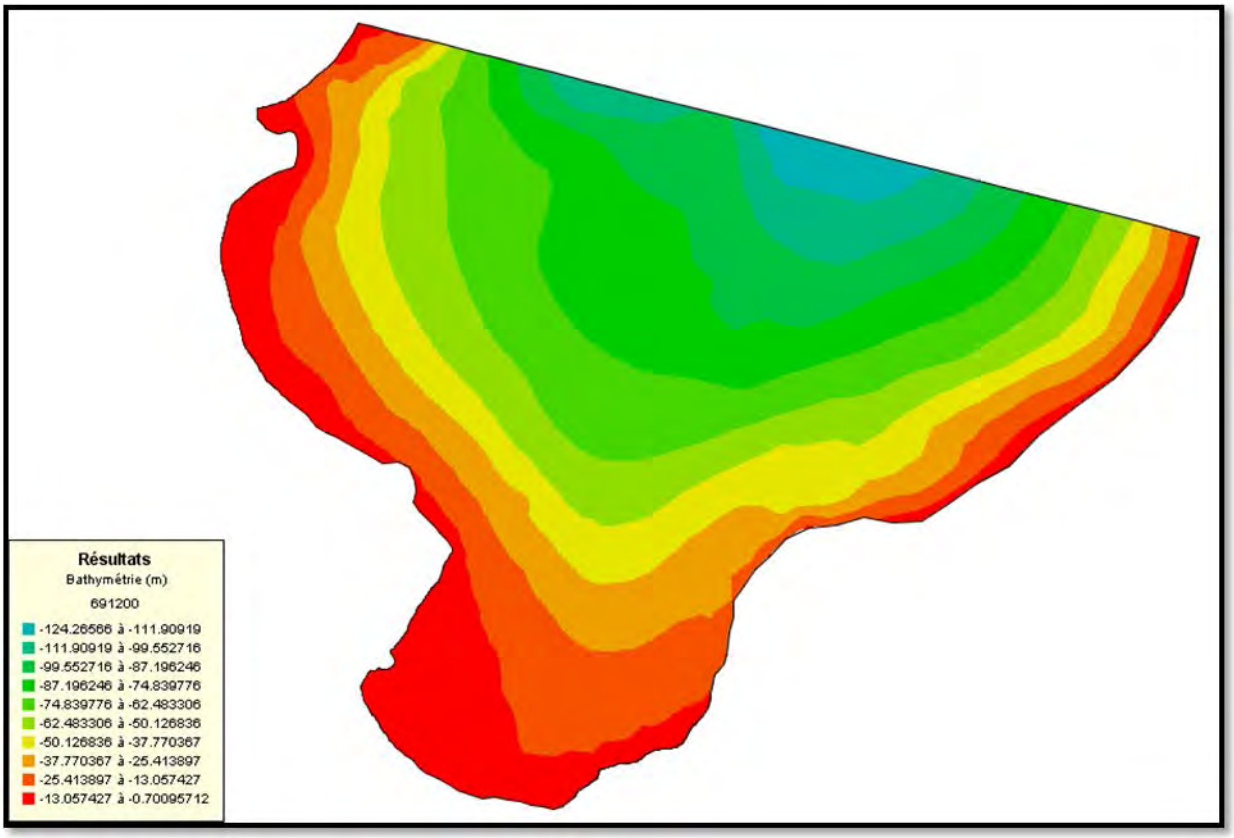


Figure 19: Carte bathymétrique du golfe de Tunis (MEDD, 2008), en mNGT

4.7.3. Les lagunes communicantes avec le golfe

Le golfe de Tunis, comme étant ouvert sur la mer méditerranéenne, communique avec cette dernière sur une largeur d'environ 60 km.

La qualité des eaux du golfe de Tunis est aussi influencée par les apports d'eau par les principaux cours d'eau qui y débouchent.

En effet, le golfe de Tunis en communication avec plusieurs lagunes et cours d'eau naturels et artificiels. Dans ce qui suit, nous allons tenter de présenter les principales communications continentales du golfe.

4.7.3.1. La lagune de Ghar El Melh

La lagune de Ghar El Melh se trouve au Nord-Est de la Tunisie et au Nord-Ouest du golfe de Tunis, entre les deux méridiens Est 10°08'et 10°15' et entre les parallèles 37°06' et 37°10' Nord.

Cette lagune a une superficie d'environ 35 Km2 et une profondeur moyenne de 0.8 m seulement. Sa communication avec le golfe s'effectue à travers une passe appelée "El Boughaz" dont la largeur est de 85 m et la profondeur moyenne est de 2.5 m. Les échanges de la lagune de Ghar El Melh avec le golfe dépendent de la marée : Remplissage de la lagune en marée ascendante et vidange en marée

descendante. En marée moyenne, le débit entrant à la lagune peut atteindre 97 m3/s en période de remplissage (en marée ascendante), alors que le débit sortant de la lagune peut atteindre 90 m3/s lors de la vidange (en marée descendante) (MEDD, 2008).

Figure 20: Localisation de la lagune de Ghar El Melh (Google Earth, 2012)

4.7.3.2. Le lac Nord de Tunis

Le lac Nord de Tunis fait partie du complexe lagunaire de la ville de Tunis formé aussi par le canal de navigation et le lac Sud. Il est situé au Nord Est de la Tunisie et à l'Est de la ville de Tunis.

Ce lac se trouve entre les méridiens 10°11' et 10°18' Est et les parallèles 36°47' et 36°50' Nord. Il s'étend sur une superficie d'environ 24 Km2.

La profondeur moyenne du lac est de 1.6 m. Ce lac est en communication avec le golfe de Tunis à travers le canal Kheireddine dont la largeur est de 75 m et la profondeur est de 3 m.

Après les aménagements, les échanges avec le golfe au niveau de ce canal sont régis par les écluses d'entrée et de sortie qui fonctionnent automatiquement en fonction du niveau de la marée. Les écluses d'entrée, situées dans la partie Nord du lac, s'ouvrent en marée haute (courant entrant vers le lac : remplissage) tandis que les écluses de sortie, situées dans la partie Sud du lac, s'ouvrent en marée basse (courant sortant du lac : vidange). En marée moyenne semi-diurne, le débit entrant au lac atteint 61 m3/s, alors que le débit sortant atteint 72 m3/s (SPLT, 2008).

Figure 21: Localisation du lac Nord de Tunis (*GoogleEarth*, 2012)

4.7.3.3. Le lac Sud de Tunis

Le Lac Sud faisant aussi partie du complexe lagunaire de la ville de Tunis, est situé au fond de la baie de Tunis. Après les aménagements, sa surface est d'environ 7 Km2 et sa profondeur moyenne est de 2.4 m. Il communique avec le golfe de Tunis à travers le canal de Radès.

L'échange entre le lac sud et le golfe est organisé par des écluses à marée implantées dans le canal de Radés et permettant seulement l'entrée de l'eau du golfe vers le lac en marée montante. Ces écluses s'ouvrent donc automatiquement dès que le niveau de l'eau dans la mer dépasse celui dans le lac et se ferment dès que la situation s'inverse.

Le débit entrant peut atteindre 49.4 m3/s en marée moyenne ascendante. En marée descendante, les échanges sont négligeables, les écluses étant fermées (Jouini, 2003).

La vidange du lac est assurée par d'autres écluses implantées dans sa connexion avec le canal de navigation permettant seulement la sortie de l'eau du lac vers le canal de navigation en marée basse (Jouini, 2003 ; IHE, 2010).

Figure 22: Localisation du lac Sud de Tunis (*GoogleEarth*, 2012)

4.7.3.4. Sabkhet Soliman

La Sabkhat de Soliman est située au Nord de la ville de Soliman. Elle est bordée par Soliman plage à l'ouest, par une dune consolidée au Nord, par des terres agricoles au Nord-Est, à l'Est et au Sud-Est. Cette lagune, d'une superficie globale d'environ 2.2 Km2 et une profondeur moyenne inférieure à 25 cm, constitue un milieu récepteur de l'oued El Bey. Elle communique avec la mer par le biais d'un petit canal d'une largeur de 20 m et une profondeur de 3 m.

La variation du niveau de l'eau dans la sebkha est régit d'une part par un régime occasionnel qui suit le régime de crue de l'oued El Bey, et d'autre part par un régime permanent qui dépend de la variation de la marée.

Le débit échangé avec le golfe en marée moyenne peut atteindre 4.3 m3/s (MEDD, 2008).

De plus, il est à signaler que ce plan d'eau reçoit les eaux usées traitées par la Station d'épuration (STEP) de Soliman et ces dernières seront par conséquent évacuées ensuite vers le golfe à travers la passe.

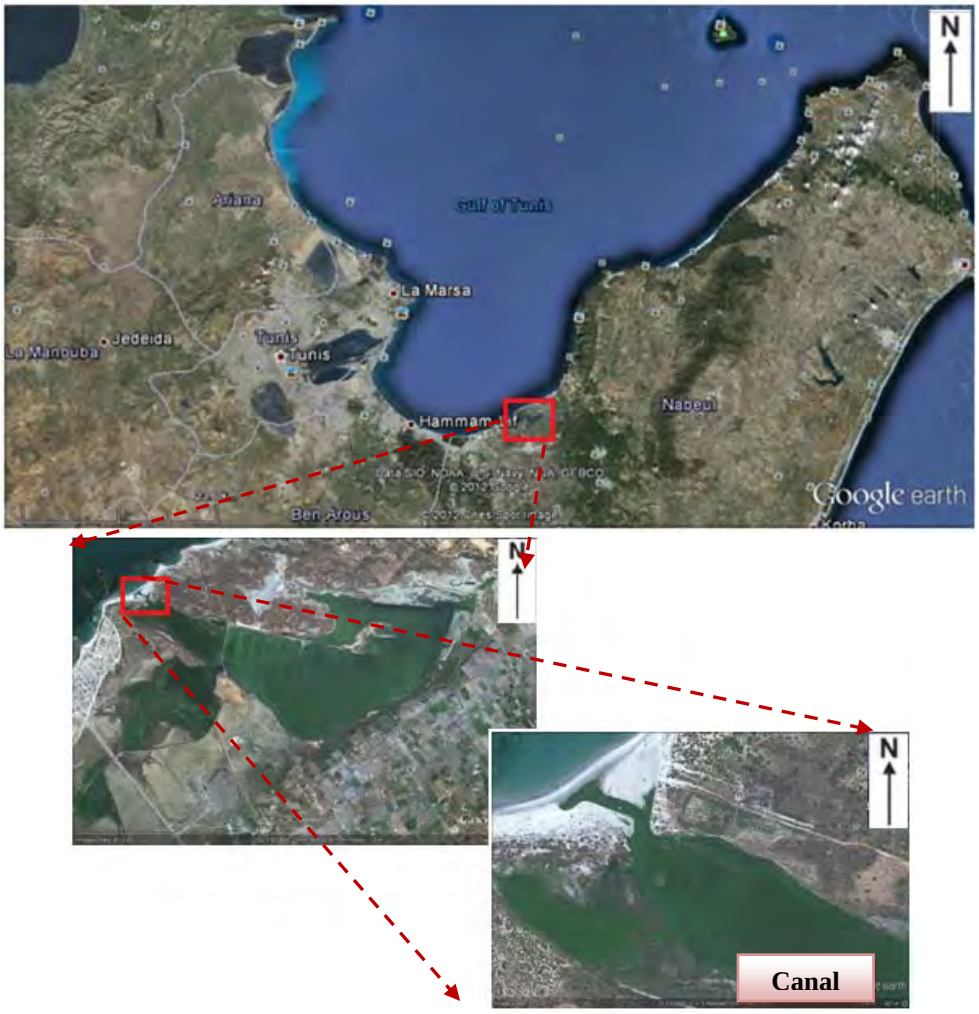


Figure 23: Localisation de Sabkhet Soliman (*GoogleEarth*, 2012)

4.7.4. Les rejets dans le golfe de Tunis

Le golfe de Tunis est confronté à diverses pressions environnementales et anthropiques parmi lesquelles nous pouvons citer les affluents des oueds et les rejets des stations d'épuration.

4.7.4.1. Les oueds

a) Oued Medjerda

Situé dans la partie Nord de la Tunisie, l'oued Medjerda comprend un grand nombre de cours d'eau permanents dont les plus importants prennent leurs sources dans les montagnes algériennes. Il est issu de la région de Souk Ahras en Algérie. Son lit majeur est d'une longueur d'environ 460 km et il comprend 5 affluents principaux qui sont les oueds Béja, Tessa, Kessab, Seliana et Mellègue.

La Medjerda draine un bassin versant estimé à 23 000 km2 dont 8 000 km2 sont en Algérie. Son débit moyen annuel est d'environ 30 m3/s. Ses écoulements se caractérisent, tout comme la pluviométrie méditerranéenne, par des contrastes saisonniers très marqués. Son débit d'étiage peut se réduire à moins de 1 m3/s alors que dans le cas des crues son débit peut atteindre 1000 à 1200 m3/s.

A l'occasion de certains événements pluviométriques, il peut passer à un régime de vrai fleuve. Les pluies exceptionnelles de Mars 1973, par exemple, ont été caractérisées par un débit atteignant 3500 m3/s (MEDD, 2008).

L'oued Medjerda traverse le Nord de la Tunisie et débouche dans une plaine alluviale extrêmement plate qui rejoint le golfe de Tunis, entre Cap Farina et Cap Gammarth.

Cet oued présente aussi une source importante d'apport d'éléments nutritifs dans les eaux du golfe (MEDD, 2008).

Figure 24: L'embouchure de l'oued Medjerda dans le golfe de Tunis (*GoogleEarth*, 2012)

b) Oued Méliane

L'oued Méliane représente le second oued de point de vue importance de ses apports pour la Tunisie (apport moyen interannuel : 33 millions m3).

L'oued Méliane draine le versant occidental de la dorsale tunisienne et se jette au Sud du golfe de Tunis, entre Radès et Hammam Lif.

Ses dimensions (un bassin versant qui s'étend sur 1500 km2 et une longueur de 100 km) sont moindres que celles de la Medjerda, mais il demeure important car il véhicule des eaux polluées d'une façon permanente et se jette directement dans la baie de Tunis (Ayadi et Bargaoui, 1998). Le débit de cet oued est irrégulier, il est en moyenne de l'ordre de 0.7 m3/s (IHE, 2010) mais il peut atteindre 200 m3/s lors de crues. Il fait partie des rares cours d'eau de la Tunisie à débit maintenu durant l'été.

L'oued Méliane se déverse au fond du golfe de Tunis (dans la baie de Tunis). Il draine trois types d'eaux : les eaux pluviales du bassin versant, les eaux épurées des stations d'épuration de l'ONAS, dont l'origine est principalement la STEP de Radés-Sud Méliane, et aussi les eaux usées industrielles et domestiques brutes (MEDD, 2008).

Cet oued est ainsi caractérisé par des eaux chargées en éléments nutritifs et en matières organiques dissoutes ou solides.

Embouchure de l'oued Méliane

Figure 25: Localisation de l'embouchure de l'oued Méliane (Google Earth, 2012)

Figure 26: Localisation de la STEP de Radès et de son rejet (Google Earth, 2012)

4.7.4.2. Les canaux et les rejets urbains et thermiques

Le golfe de Tunis témoigne une action anthropique qui croît de jour en jour du fait de sa localisation sur la côte la plus urbanisée de la Tunisie. En effet, sa situation géographique stratégique a favorisé l'installation d'activités de toutes sortes (industrie, transport maritime, tourisme, etc.) et ceci le rend encore plus menacé par la pollution. Ainsi, plusieurs rejets s'y effectuent actuellement.

a) Le canal de navigation

Le canal de navigation a été creusé en 1881 pour relier la baie au port de Tunis situé à l'intérieur des terres. Il est aligné suivant la direction WNW-ENE. Ce canal est d'une longueur d'environ 15 km, une largeur de 100 m et une profondeur moyenne de 8 m. Les échanges de ce canal avec le golfe de Tunis dépendent de la demande des centrales électriques de Radés en eau de mer, pour le refroidissement, ainsi que de la communication avec le lac Sud (le système lac Sud-canal de navigation échange un débit journalier de l'ordre de 3 millions de m3/j). Le débit échangé avec le golfe de Tunis peut atteindre 60 m3/s (El Douggui, 2005 ; MEDD, 2008 ; IHE, 2010).

Figure 27: Localisation du canal de navigation (Google Earth, 2012)

b) Le canal Khalij

Le canal Khalij se déverse dans le golfe de Tunis, à environ 4 Km au nord de la plage de Raoued. Ce canal draine les eaux pluviales de l'oued El Hassiane et les eaux usées épurées des stations d'épuration (STEP) de Choutrana et de la côtière Nord. Il a une profondeur moyenne de 1 m et une pente moyenne supérieure à 1/100ème. Le débit déversé dans le golfe est d'environ 230 000 m3/jour (MEDD, 2008 ; IHE, 2010).

Figure 28: Canal Khalij (Google Earth, 2012)

Figure 29: Rejet de la STEP de Chotrana (*GoogleEarth*, 2012)

c) Le rejet des centrales électriques de Radès (A- B et CPC)

La prise d'eau des centrales électriques de Radès se fait au niveau du canal de navigation (à coté du port de Radès), alors que leurs eaux chaudes sont évacuées dans un canal qui se déverse ensuite dans le fond du petit golfe de Tunis . Ce canal fait une largeur d'environ 70 m et une profondeur de l'ordre de 2.5 m. Le débit des eaux de refroidissement des différentes centrales électriques de Radès et rejetées par ce canal atteint 58 m3/s. Ces eaux sont réchauffées à environ +6°C (IHE, 2010).

Figure 30: Rejet des centrales électriques de Radès dans le golfe de Tunis (GoogleEarth, 2012)

4.7.5. Etat de pollution des eaux du golfe

Le golfe de Tunis est un biotope côtier qui est sous la pression de plusieurs types de rejets terrestres (les apports des oueds, des zones humides littorales, des eaux usées des villes côtières, etc.). Ces rejets ont conduit à la dégradation de la qualité des eaux du golfe (eutrophisation de quelques zones côtières et disparition progressive du couvert végétal).

La zone de Radès est la plus menacée par l'eutrophisation. Cette zone est actuellement la plus polluée principalement en phosphore total et en chlorophylle-a. En se basant sur la classification de l'OCDE (1982), cette zone a été classée entre mésotrophe à 50% et eutrophe à 45% et avec un débit de rejet de

l'ordre de 1 m3/s. Avec un débit dépassant 1.5 m3/s (d'ici quelques années), elle peut très probablement devenir très eutrophe et même hyper-eutrophe (Ben Charrada et Moussa, 2009).

Concernant l'azote inorganique dissous, les nitrates sont les formes dominantes dans les eaux de surface du golfe de Tunis, parce que celles-ci sont relativement bien oxygénées. Les teneurs de NO3-, mesurées en octobre 1993, sont en général inférieures à 2µM/l. Cependant, des concentrations relativement élevées en nitrates, pouvant atteindre 7µM/l, ont été enregistrées au large du golfe et près de la côte de Korbous. Dans les eaux profondes, les teneurs de NO3- sont généralement plus faibles que celles mesurées en surface, à l'exception de la zone située prés de l'ancienne embouchure de la Medjerda, où le contraire a été observé (MEDD, 2008).

4.7.5.1. Couvert végétal dans golfe

Dans le domaine des études phytobenthiques, les documents sont rares. La figure ci-dessous, montre la répartition de la flore benthique dans le golfe de Tunis en 1972.

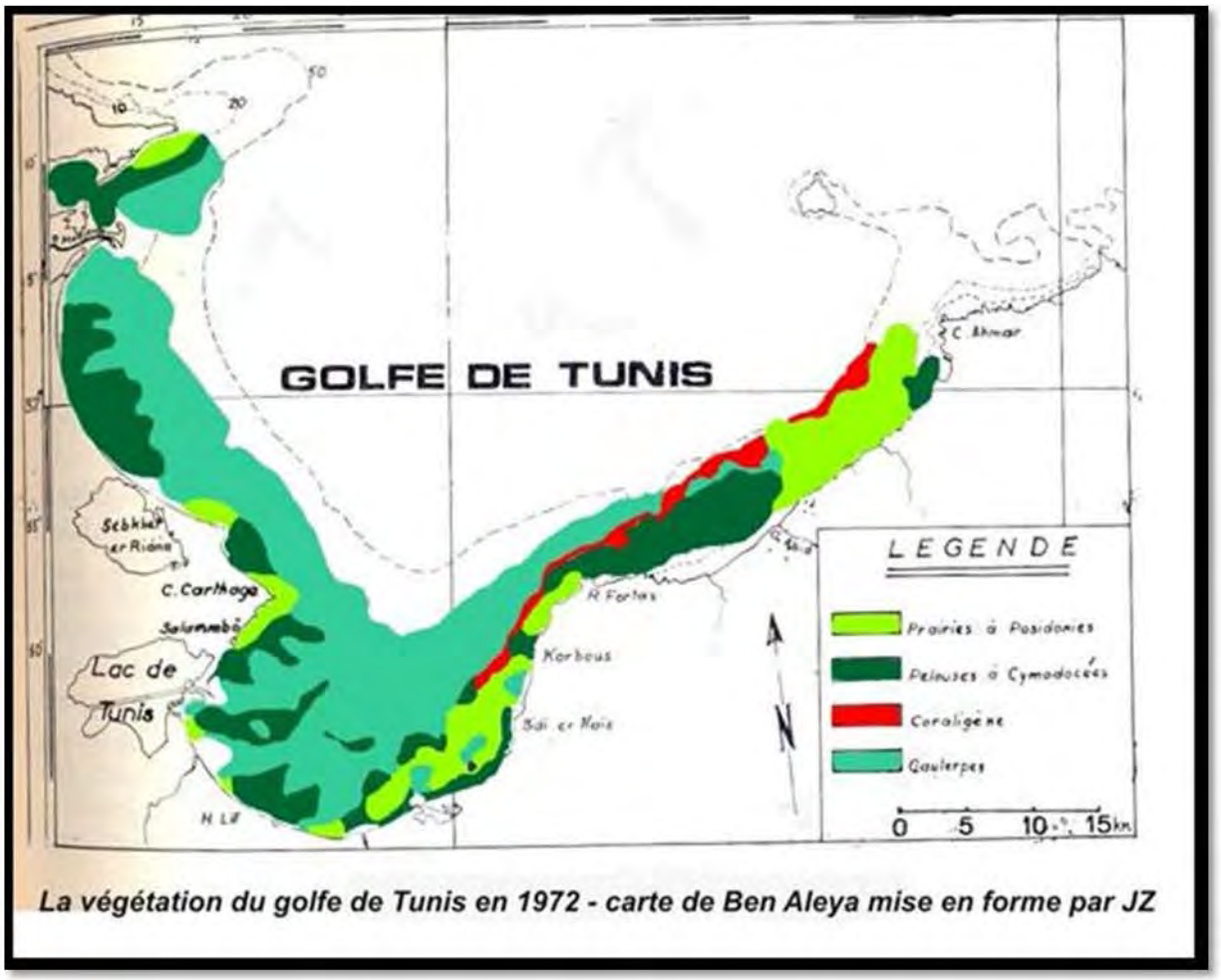


Figure 31: La végétation dans le golfe de Tunis en 1972 (citée dans MEDD, 2008)

En ce qui concerne les espèces indicatrices d'un bon état de l'environnement, l'herbier de Posidonie constitue un excellent indicateur de la qualité du milieu naturel.

Malheureusement, la surface occupée par les herbiers au niveau du golfe de Tunis est actuellement très fortement limitée (MEDD, 2008) par :

- La perte de transparence des eaux côtières ;
- L'eutrophisation du milieu.

En se déplaçant progressivement du Nord vers le Sud du golfe, on remarque que l'herbier passe de l'état « sain » à l'état dégradé puis à la matte morte.

Figure 32: Les étapes de la dégradation de l'herbier de Posidonie dans le golfe de Tunis (MEDD, 2008)

4.7.6. Caractéristiques climatiques du golfe de Tunis

La Tunisie est à la limite des climats tempérés chauds méditerranéens et subtropicaux sahariens. En zones côtières, l'influence modératrice des masses d'eaux donne une composante plus tempérée en particulier en hiver.

Les principales caractéristiques de ce climat sont :

- Une chaleur permanente et forte en été ;
- Une instabilité du climat pendant le reste de l'année ;
- Des faibles précipitations et orageuses.

L'été, chaud et sec, dure de 3 à 5 mois. L'hiver, frais, est irrégulièrement pluvieux. Des coups de froid surviennent souvent après des périodes anormalement chaudes. Durant deux à trois mois, la température est comprise entre 20 °C au lever du jour et 30 °C le soir. Il y a peu de pointes très chaudes. Les vents du sud contribuent à diminuer la température au niveau de l'interface eau-atmosphère (tranche d'eau superficielle). Les brises de terre hivernales ont pour effet le rafraîchissement de la température des eaux de mer, par contre celles de l'Est (de dominance estivale) ont pour effet la régulation des températures des zones côtières du golfe de Tunis (Ben Charrada, 1997).

4.7.6.1. Température de l'air

La moyenne interannuelle de la température de l'air de la station de Tunis-Carthage est de l'ordre de 22.1°C pour la période allant d'Octobre 2001 jusqu'à Janvier 2012, comme indiqué dans la figure, ce qui explique la nature tempérée du climat de notre zone d'étude.

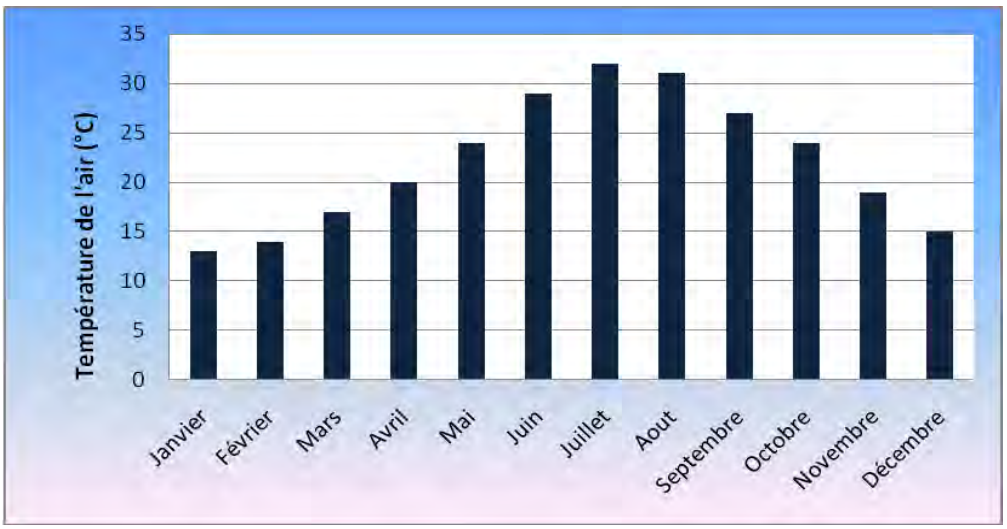


Figure 33: Variations mensuelles de la température moyenne de l'air (Octobre 2001-Janvier 2012) (d'après www.windfinder.com)

La température de l'air subit des fluctuations avec les saisons. Les valeurs les plus basses de température sont enregistrées en Janvier (13°C).

Les maximas moyens interannuels oscillent entre 31 et 32°C et correspondent aux mois de Juillet et Août.

4.7.6.2. Le vent

Parmi les données climatologiques qui agissent directement sur l'hydrodynamisme et la dispersion d'un effluent en mer, nous retrouverons le vent. En effet, le vent génère des courants de surface, un basculement du plan d'eau et des vagues qui peuvent influencer la dilution de l'effluent dans le milieu récepteur.

Les vents, à l'origine, sont le résultat de la différence de pressions entre deux endroits différents combinée avec la force de Coriolis liée à la rotation de la terre autour de son axe. La Tunisie se trouvant souvent dans l'axe des champs de pressions contradictoires, est, de ce fait, particulièrement ventée. Les vents, vu leur violence et leur fréquence, jouent un rôle important sur les courants (MEDD, 2008).

Le vent présente une instabilité saisonnière. En effet, plusieurs directions peuvent exister au cours de l'année. Le vent dépend surtout de la saison, mais également de l'altitude et du site géographique du point de mesure (INM, 1999). Pour étudier le régime du vent au niveau du golfe de Tunis, nous disposons des roses des vents annuelles et mensuelles (celles du mois d'Aout) des stations de Bizerte, Tunis-Carthage et Kelibia, qui sont basées sur des observations tri-horaires (8 observations par jour) des directions et vitesses du vent mesurées à une hauteur de dix mètres au-dessus du sol et se rapportant à la période 1970-1990.

Nous présenterons dans les figures ci dessous ces roses. L'analyse des roses de fréquences mensuelles montre que les vents du secteur NNE sont les plus fréquents en été (mois d'Août) avec une vitesse moyenne de 6 m/s. En ce qui concerne les fréquences annuelles, les vents provenant du secteur Ouest restent les plus dominants au Nord de la dorsale avec des vitesses aux alentours de 7 m/s.

Dans les figures ci-dessous chaque classe de vitesse est représentée par une couleur distincte. La longueur de chaque classe de vitesse, suivant une direction donnée, est proportionnelle à la fréquence des vents observée dans cette classe.

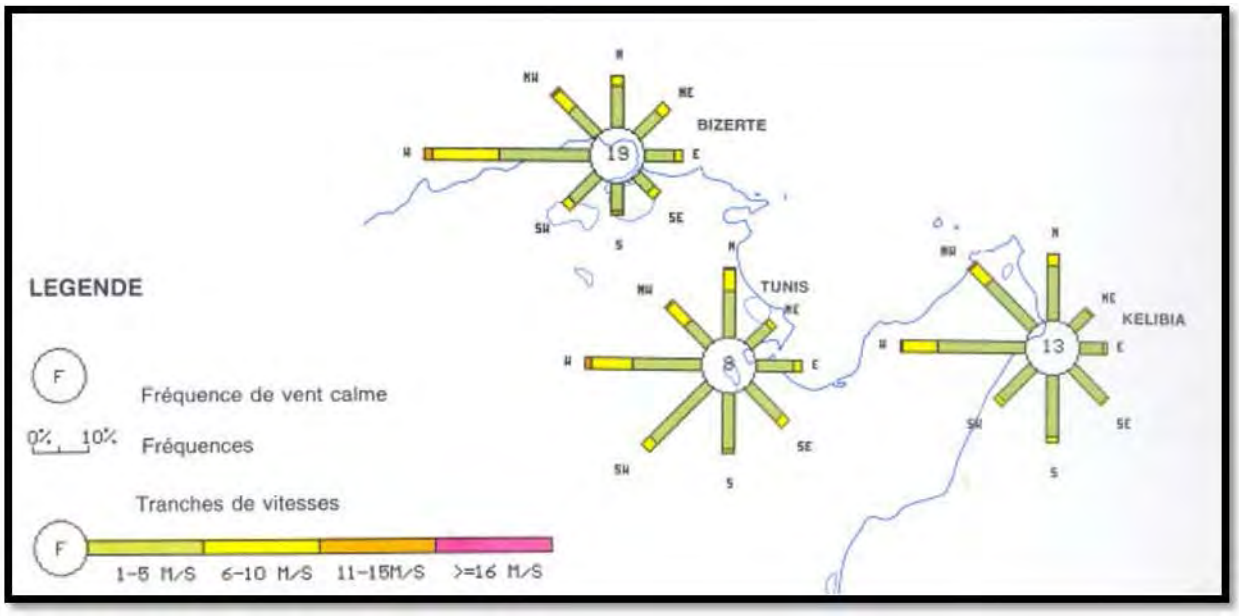


Figure 34 : Rose des vents de fréquence annuelle dans le golfe de Tunis, période 1970-1990 – (INM, 1999)

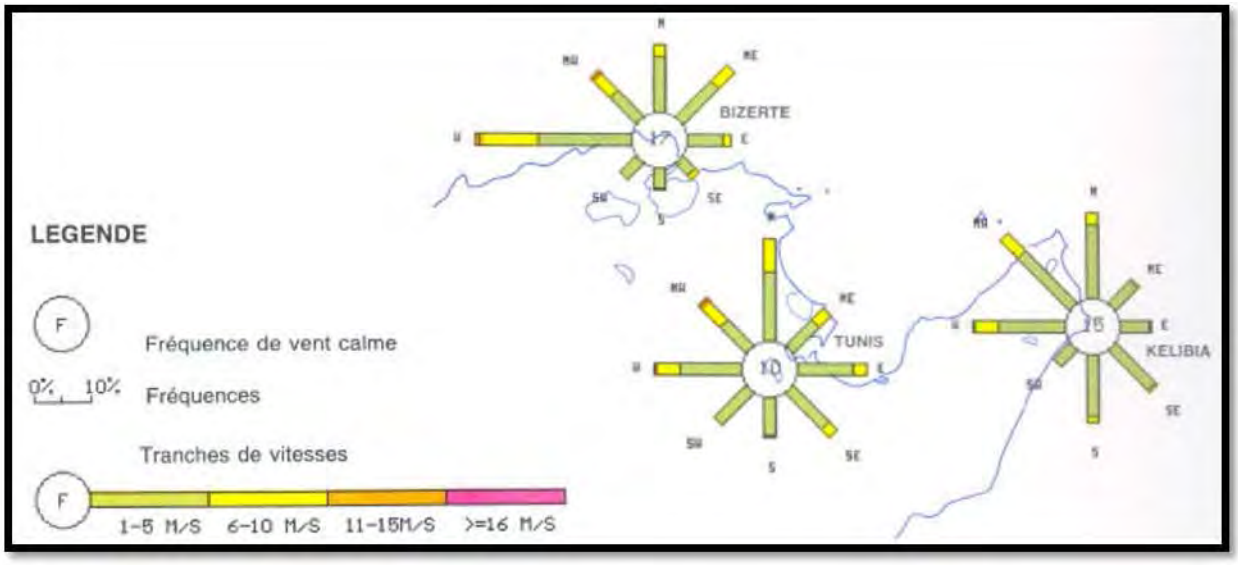


Figure 35: Roses de fréquence de vent relatives au mois d'Août dans le golfe de Tunis, période 1970-1990 – (INM, 1999)

De plus nous avons des données qui sont plus récentes fournies par le site internet www.windfinder.com , site fournissant des prévisions météorologiques (les données du vent surtout) en faveur des clubs de navigation à voile dans le monde entier.

Ces données sont exposées sous forme d'une rose de vent basée sur des observations de vents effectuées pendant la période allant du 10/2001 au 1/2012 tous les jours de 7h à 19h à la station de Tunis-Carthage.

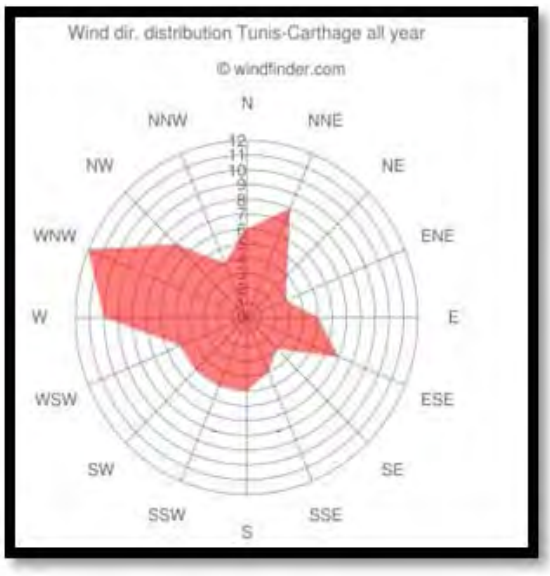


Figure 36: Rose des vents à Tunis (Octobre 2001-Janvier 2012) (www.windfinder.com)

4.7.6.3. La pluviométrie

La Tunisie est située dans la zone géographique de transition entre le climat tempéré humide et le climat aride du Sahara.

Les résultats dont on dispose sont celles fournies par l'INM (1999) en utilisant des séries pluviométriques mensuelles de la station Tunis-Carthage sur la période 1961-1990.

La saison pluviométrique s'étend de Septembre à Mai avec un maximum de pluie durant les mois d'hiver. D'après l'INM (1999), la variabilité interannuelle des précipitations est assez faible.

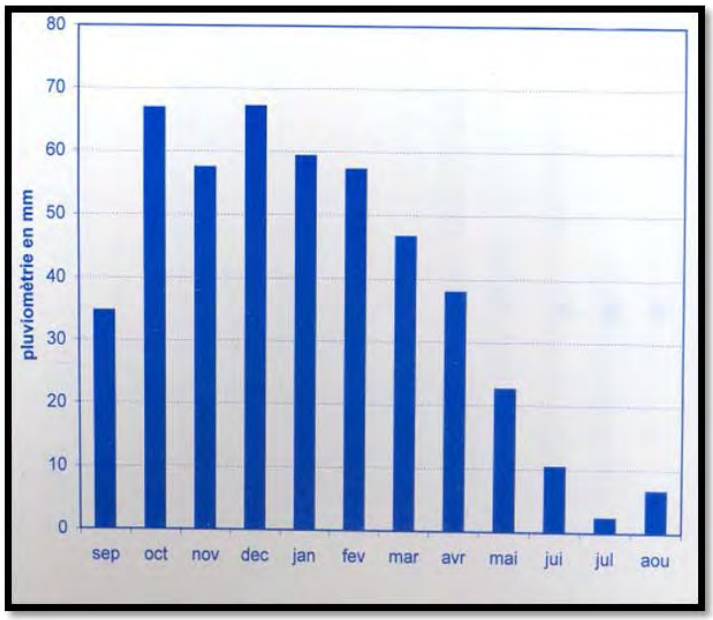


Figure 37: Variation de la pluviométrie mensuelle moyenne à Tunis-Carthage - Période 1961-1990 (INM, 1999)

4.7.6.4. L'évaporation

Les résultats disponibles de l'INM (1999) concernent des observations mensuelles moyennes de l'évaporation (sous abri) au niveau de la station Tunis-Carthage sur la période 1961-1990 .

Cette figure fait ressortir des évaporations maximales en été (Juillet) et minimales en hiver (Décembre à Février).

D'après l'INM (1999), durant les mois de l'été, les évaporations quotidiennes de l'ordre de 10 mm sont fréquentes, alors que les pluies sont rares, il en résulte alors un déficit hydrique important.

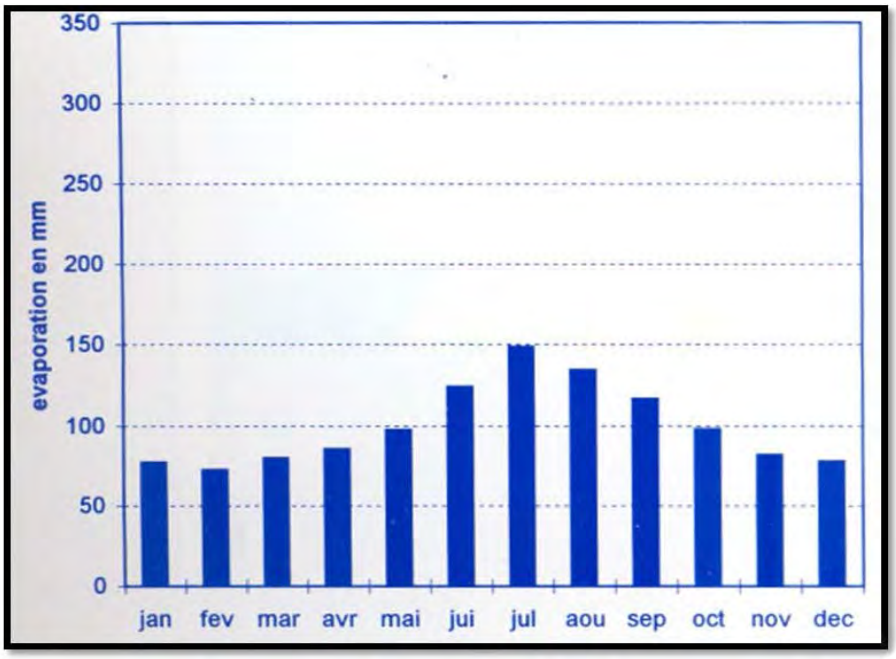


Figure 38: Variation de l'évaporation mensuelle moyenne à Tunis-Carthage - Période 1961-1990 (INM, 1999)

4.7.7. Caractéristiques océanographiques du golfe de Tunis

Le mouvement des eaux marines est contrôlé par plusieurs facteurs dont la houle, la marée et les courants marins.

Dans la partie qui suit, nous allons tenter de mettre l'accent sur les facteurs cités ci-dessus en se basant sur les données bibliographiques dont nous disposons.

4.7.7.1. La marée

La marée est l'un des phénomènes les plus importants qui contrôlent la dynamique des milieux marins. En effet, la marée génère des courants qui peuvent transporter et diluer toute pollution éventuellement rejetée dans une zone côtière.

Le phénomène de marée se traduit par un mouvement oscillatoire périodique du niveau de la mer (flux et reflux) causé par l'effet conjugué des forces gravitationnelles de la Lune et du Soleil.

Le niveau le plus élevé atteint par la mer au cours d'un cycle de marée est appelé pleine mer (ou couramment « marée haute »). Par opposition, le niveau le plus bas se nomme basse mer (ou « marée basse »). La période et l'amplitude de la marée varient dans le temps et dans l'espace, suivant les positions relatives des astres perturbateurs par rapport à la terre. Il est à signaler que l'action de la Lune est généralement la plus importante en raison de sa proximité de la Terre par rapport au soleil.

Sur les côtes Tunisiennes, la marée est généralement mesurée par rapport au Zéro Hydrographique (ZH) ou par rapport au Zéro du Nivellement Général de la Tunisie (NGT), sachant que le 0 m NGT= +0.41m ZH dans le golfe de Tunis.

D'après les données publiées, la marée dominante sur les côtes Tunisiennes est de type semi-diurne, mais l'amplitude varie d'une zone à l'autre (IHE, 2005).

Une campagne de mesure ayant pour objectif d'étudier la variation du niveau de la mer au niveau du port de La Goulette, a été réalisée par le bureau d'études IHE, sur une période de 3 mois allant du 15 Février au 15 Mai 2005. Le niveau moyen dans le port de La Goulette a été toujours positif et il oscille entre les valeurs mensuelles 13.5 cmNGT et 12.7 cmNGT. Nous indiquons sur le tableau I-1 et la figure I-24 la variation du niveau moyen de la mer durant la période de mesures (IHE, 2005).

Concernant le marnage, cette étude montre que :

- En moyenne, le marnage dans le port de La Goulette est de 20 cm ;
- Le marnage est presque nul en mortes-eaux ;
- Pendant la période de vives eaux, le marnage tend vers les 30 cm ;
- Le marnage des vives-eaux exceptionnelles est de 36.3 cm qui coïncide avec les équinoxes.

Tableau 7: Niveau moyen dans le port de la Goulette durant la période de mesure (IHE, 2005)

Période	Niveau moyen (cm NGT)	Niveau moyen journalier Max (cm NGT)	Niveau moyen journalier Min (cm NGT)
Du 15/02/05 au 15/03/05	13.42	19.36	6.56
Du 16/03/05 au 15/04/05	12.89	19.41	3.98
Du 16/04/05 au 15/05/05	14.48	20.29	7.79
Pour toute la période d'observation	**13.6**	**20.29**	**3.98**

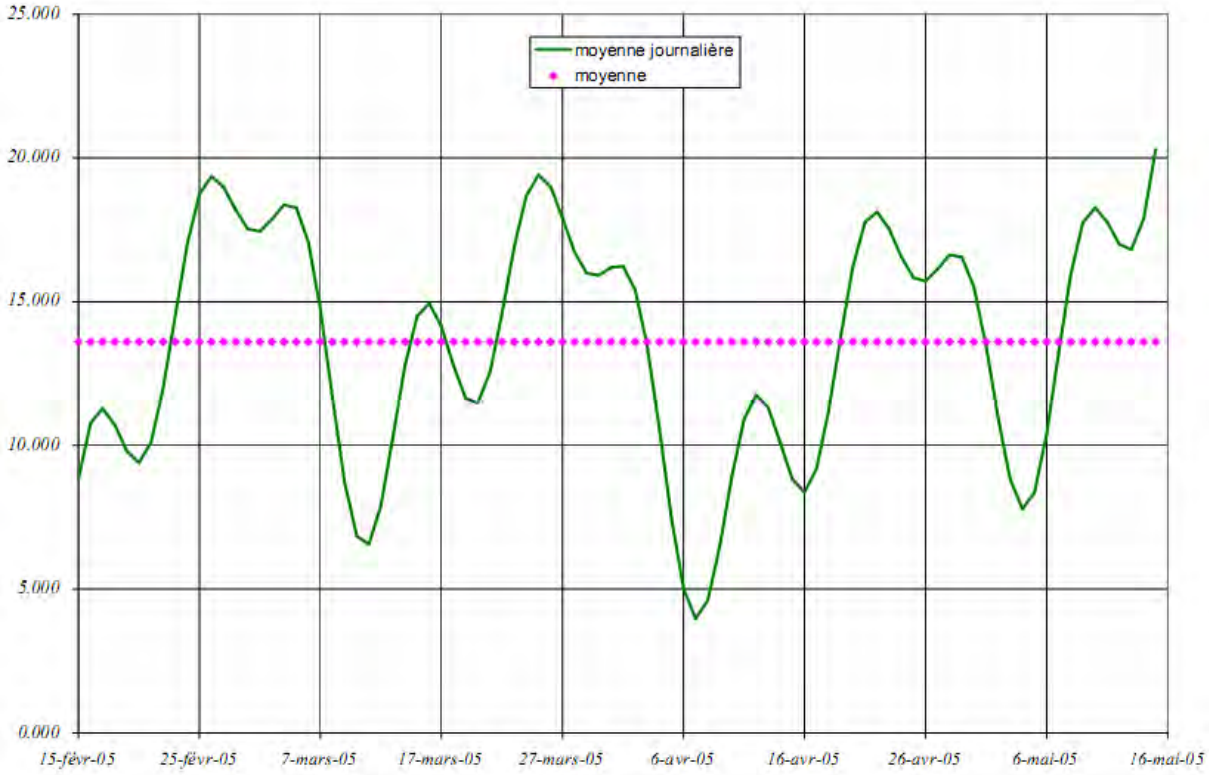


Figure 39: Variation du niveau moyen en cm NGT dans le port de La Goulette (IHE, 2005)

4.7.7.2. La houle

La houle est un mouvement ondulatoire de la surface de la mer qui est formé par un champ de vent éloigné de la zone d'observation. C'est donc un cas particulier de vague.

Lors d'un coup de vent lointain, la mer se couvre de rides. Quand l'intensité du vent augmente, la déformation de la surface s'accentue en formant des ondulations d'aspect désordonné (agitation à 3 dimensions) ensuite des vagues organisées se forment dans la direction du vent.

La houle se réfléchit quand elle rencontre un obstacle, se réfracte lorsqu'elle rencontre des milieux de célérités différentes et se diffracte lorsqu'elle contourne un obstacle. Dans tous ces phénomènes, la période de la houle reste constante, par contre l'amplitude peut varier.

Dans le golfe de Tunis, d'après les estimations de H.P. (1995), les principales directions de la houle sont généralement du Nord-Nord-Est et Est avec des clapots entre Est-Nord-Est et Sud-Est :

- La houle significative décennale serait de 4.4 m à 5.2 m et de période 11.3 s à 13.2 s.
- La houle significative cinquantennale serait de 5.7 m à 6.8 m et de période 13.8 s à 16.4 s.

Tableau 8: Hauteur et période de la houle dans le golfe de Tunis (HP, 1995)

Site		Période de retour (années)					Direction moyenne (degré/au nord)
		5	10	25	50	100	
Golfe de Tunis (Banlieue Nord)	Hauteur (m)	4.4	5.2	6.1	6.8	7.5	18
	Période (s)	11.8	13.2	15.1	16.4	17.8	
Golfe de Tunis (Banlieue Sud)	Hauteur (m)	3.8	4.4	5.2	5.7	6.3	356
	Période (s)	10.2	11.3	12.7	13.8	14.8	

4.7.7.3. Les courants marins

Les courants marins sont parmi les principaux facteurs océanographiques qui influencent directement le transport et la dilution d'un polluant quelconque rejeté dans une zone côtière.

Quatre types de courant peuvent jouer un rôle plus ou moins important dans la dynamique des eaux côtières (MEDD, 2008) :

- Les courants généraux de surface.
- Les courants dus à l'action des vents.
- Les courants de marée.
- Les courants de houles.

Nous présenterons dans les paragraphes suivants ces types de courants et leurs impacts sur le golfe de Tunis en nous basant sur les données bibliographiques dont nous disposons.

4.7.7.4. Les courants généraux de surface

Les courants généraux de surface intéressent la circulation des eaux à l'échelle d'un océan ou d'une mer.

La circulation en méditerranée peut être comparée à un « moteur » qui transforme l'eau Atlantique peu salée, entrant par le détroit de Gibraltar, en eau dense appelée eau méditerranéenne qui franchit à son tour le détroit Gibraltar vers l'Atlantique Nord.

L'eau Atlantique, qui pénètre en surface par le détroit Gibraltar, s'écoule le long de l'Afrique du nord formant le courant Algérien.

Au niveau du détroit de Sicile, la veine d'eau se scinde en deux branches:

- L'une se bifurque vers le Nord et pénètre en Mer Tyrrhénienne le long des côtes italiennes ;
- L'autre branche, franchit le détroit de Sicile vers l'Est. La force de Coriolis, liée à la rotation de la terre, pousse les masses d'eau vers le Sud lors de leur mouvement vers l'Est.

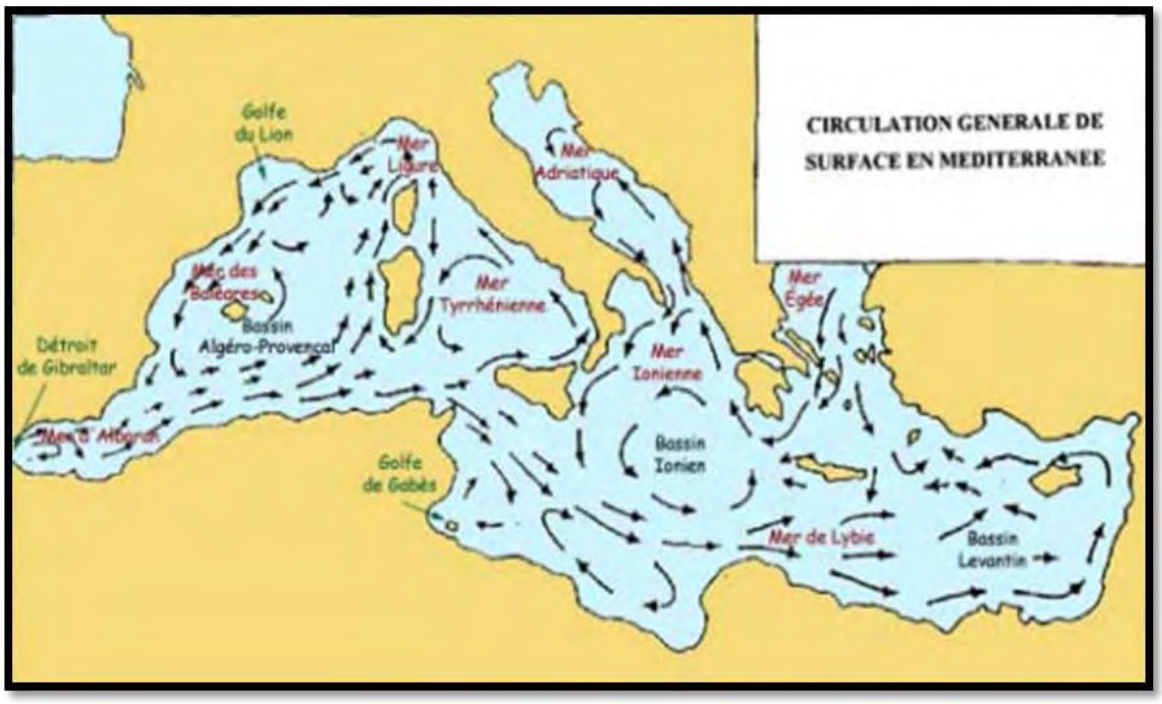


Figure 40: Carte des courants de surface (Lacombe et Tchernia, 1972)

Au large des côtes Nord de la Tunisie, les courants généraux, liés à la circulation générale de la Méditerranée, circulent de l'Ouest vers l'Est. Au large des côtes Est, la circulation est plutôt du Nord vers le Sud. Il est à signaler que ces courants généraux concernent surtout les eaux au large donc n'interviennent que peu ou pas au niveau des côtes. Ainsi, pour notre domaine d'étude, ils sont faibles et leur impact sur le fonctionnement hydrodynamique du golfe de Tunis est négligeable.

4.7.7.5. Les courants dus à l'action du vent

Les courants dus aux vents n'existent, évidemment, que s'il y a du vent. Cependant, pour arriver à une relation cause-effet, il ne suffit pas de considérer seulement l'intensité et la direction du vent : on doit tenir compte, en effet, de sa durée, du fetch et aussi de la morphologie de la zone côtière. Les vitesses du courant généré par les vents sont généralement de l'ordre de 2 % de la vitesse de celui-ci (SOGREAH, 1982). Elles sont faibles (inférieures à 0.3 m/s) et ne sont que de quelques cm/s par temps calme. Ces courants, qui apparaissent bien souvent parallèlement à la côte, peuvent être estimés, en moyenne, à 0.10 m/s (MEDD, 2008).

Les courants dus aux vents des tempêtes peuvent se superposer au mouvement de la marée et produire d'importantes surélévations du niveau de la mer (Phénomène de RAZ DE Marée).

Les figures ci-dessous, réalisées à l'aide d'un modèle à 3D, représentent quelques résultats des simulations de la dynamique du golfe de Tunis dans les conditions de vents les plus représentatives du climat de la région de Tunis :

- **Vent du secteur Nord-Ouest**: La direction dominante à Tunis durant toute l'année et particulièrement en hiver. La vitesse moyenne du vent simulée est de 9 m/s.

Le courant provenant de l'ouest de la Méditerranée et d'origine Atlantique traverse en partie le golfe de Tunis, en entrant par le Nord-Ouest et sortant par le Nord-Est, tout en créant une circulation giratoire à l'intérieur du golfe. Cette circulation giratoire, dans le sens contraire des aiguilles d'une montre, est très visible dans la baie de Tunis.

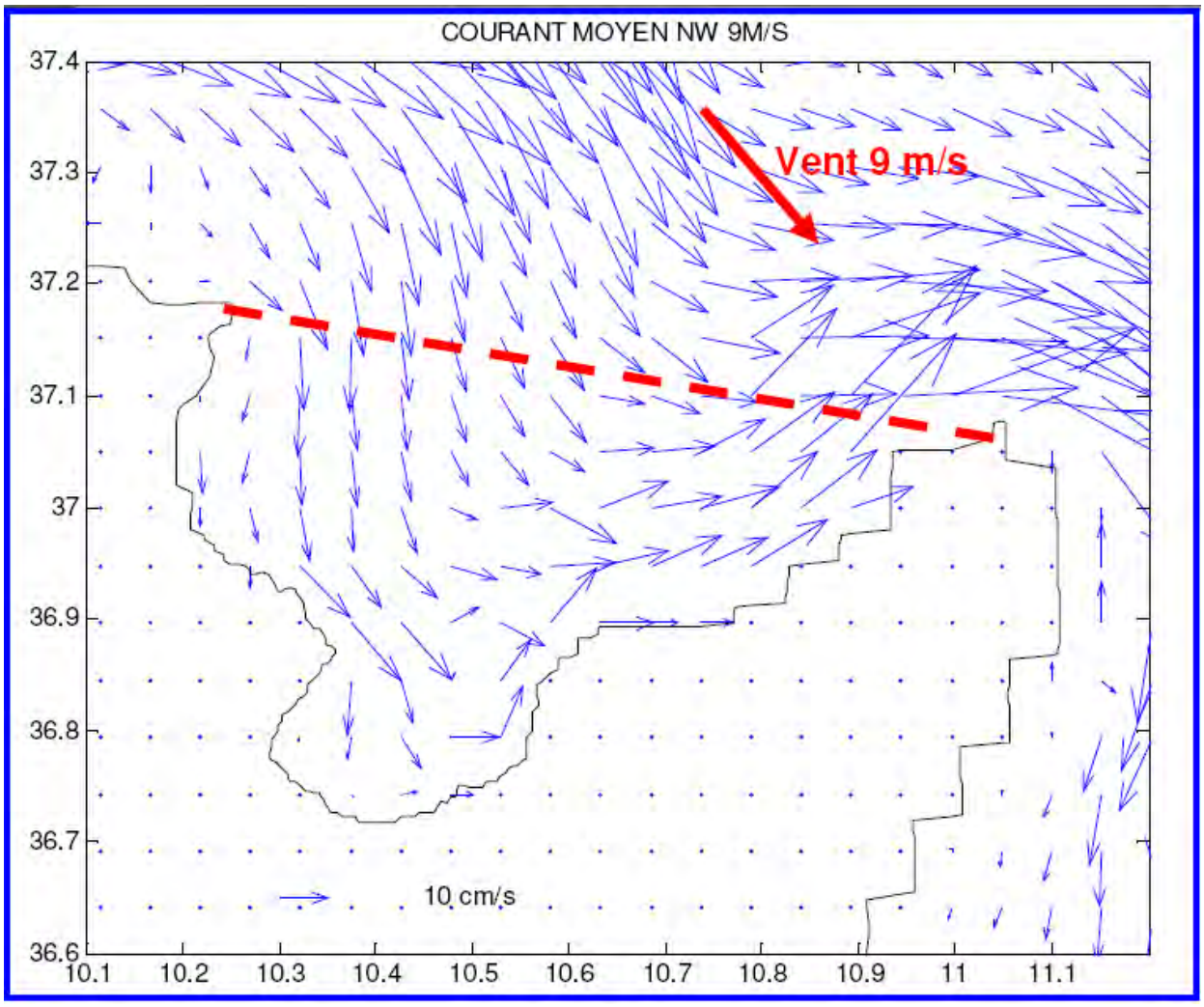


Figure 41: Circulation moyenne dans le golfe de Tunis générée par un vent NW de 9 m/s (MEDD, 2008)

- **Vent du secteur Est:** La direction dominante en été, avec une vitesse moyenne du vent de 7 m/s.

Le courant provenant de l'ouest de la Méditerranée contourne le golfe de Tunis, pour poursuivre son chemin vers l'Est de la Méditerranée. Cependant, une circulation giratoire à l'intérieur du golfe est

créée, l'eau entre dans le golfe par le Nord-Est et en sort par le Nord-Ouest, mais elle de moindre importance.

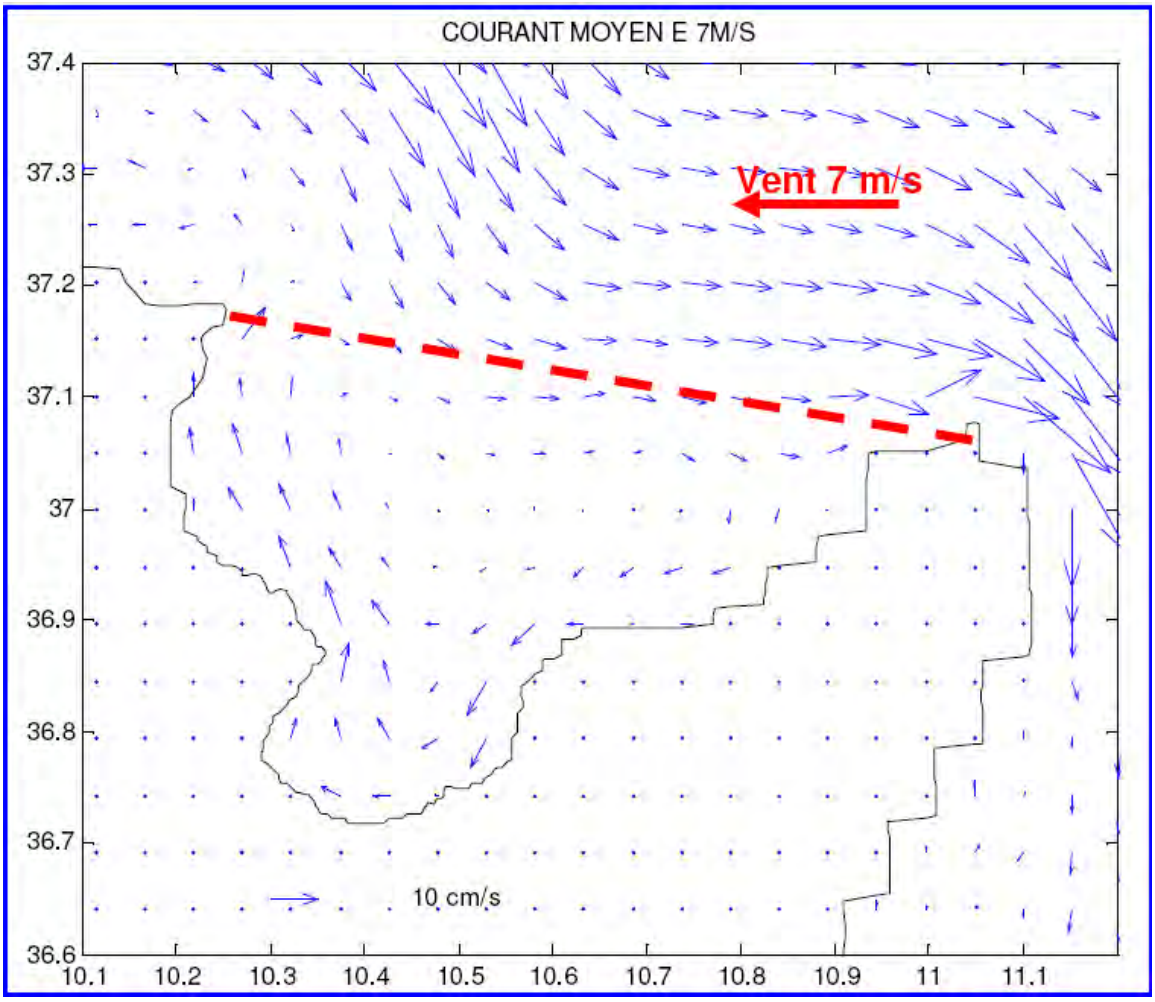


Figure 42: Circulation moyenne dans le golfe de Tunis générée par un vent Est de 7 m/s (MEDD, 2008)

- **Vent calme:** Représente environ 8% des cas de vent enregistrés dans la région de Tunis. La vitesse moyenne du vent simulée est de 1 m/s seulement.

Le courant provenant de l'ouest de la Méditerranée contourne totalement le golfe de Tunis. Ainsi, à l'intérieur du golfe la circulation est très faible, sauf vers le large.

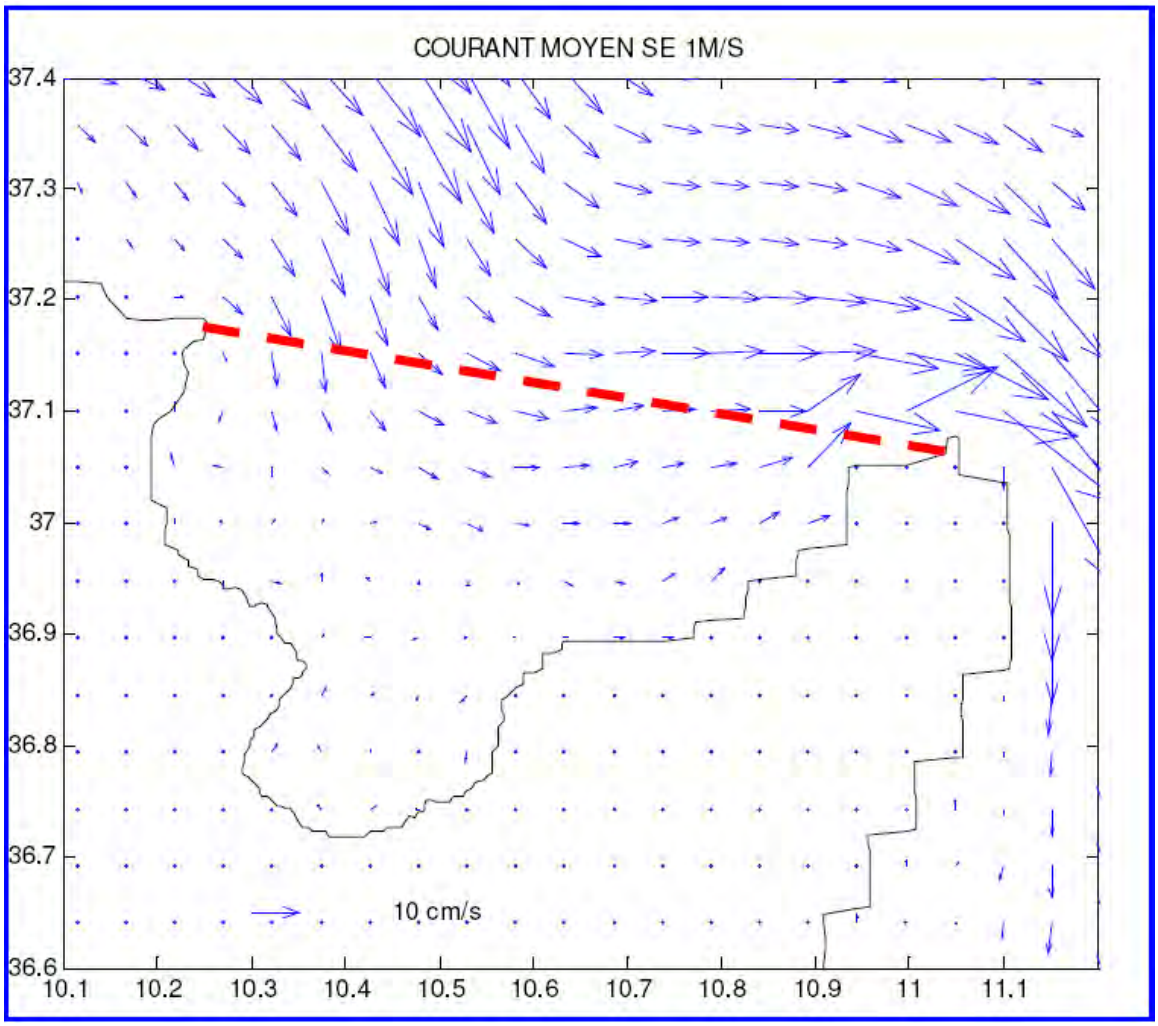


Figure 43: Circulation moyenne dans le golfe de Tunis générée par un vent calme de 1 m/s (MEDD, 2008)

4.7.7.6. Les courants de marée

Les courants de marée se sont les courants liés aux variations de niveau qu'engendre la marée. Donc on peut dire qu'il s'agit de courants d'origine astronomique.

Sur les côtes tunisiennes ces courants sont faibles (au maximum 0.10 m/s), ils sont masqués le plus souvent par les courants de houle générés par les vents locaux (LCHF-SGTE, 1978). Ils sont importants uniquement au niveau des étranglements et des communications avec les lagunes côtières.

La figure ci dessous présente un schéma des courants de marée sur les côtes tunisiennes.

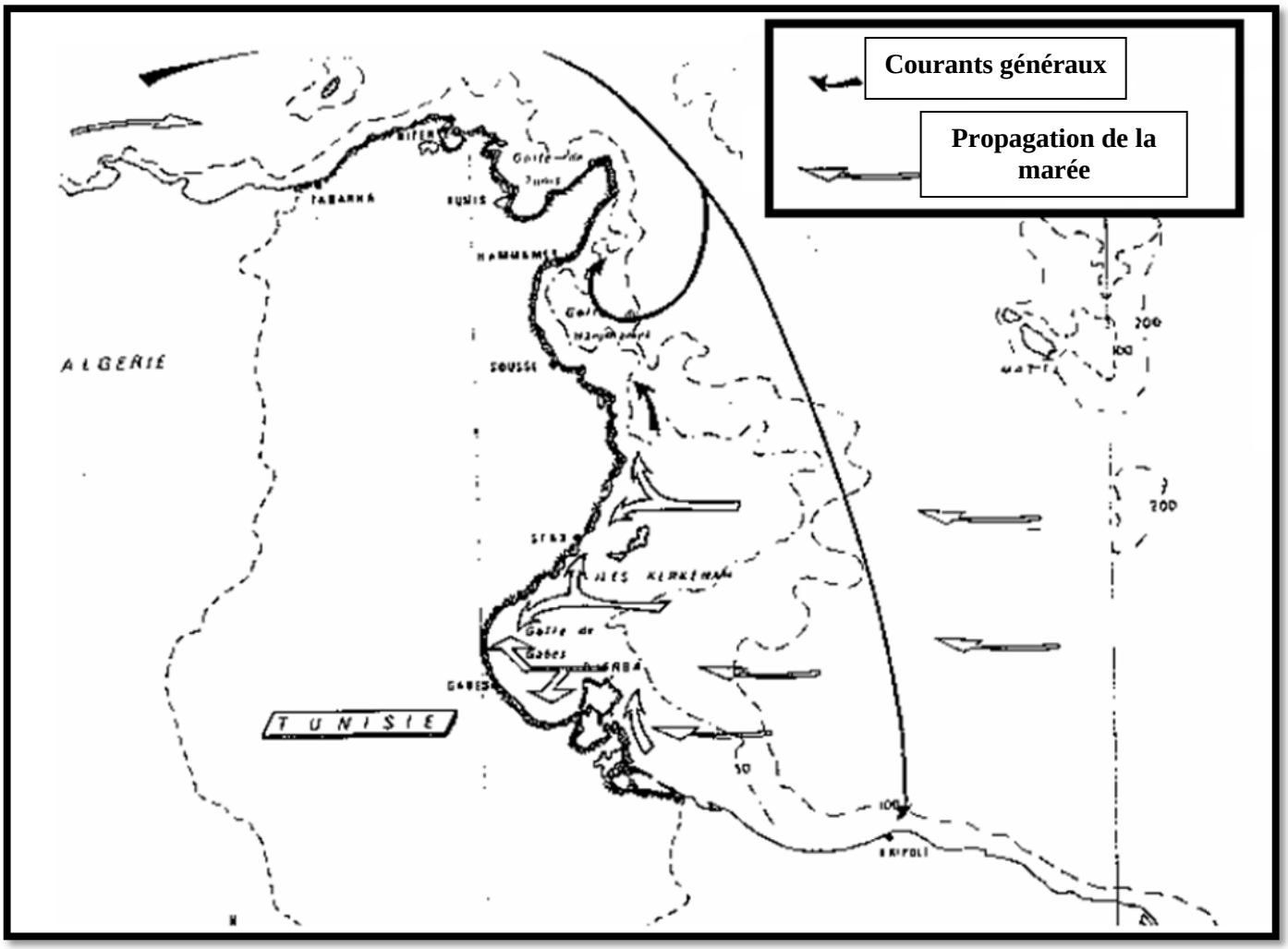


Figure 44: Courants généraux et propagation de la marée sur les côtes tunisiennes (LCHF-SGTE, 1978)

4.7.7.7. Les courants de houle

Les courants de houle sont généralement faibles, mais ils sont le plus souvent responsables des transports de sédiments dans le littoral (Ben Charrada et al., 1997). En effet, ces courants de houle sont à l'origine de transports longitudinaux des sables littoraux, on ne peut pas donc les isoler des houles qui les engendrent. De ce fait, pour une houle de caractéristiques connues (hauteur, période, obliquité) se propageant et se déferlant sur une morphologie donnée, le courant de houle sera le même à n'importe qu'elle plage (MEDD, 2008).

On distingue alors deux types de courants :

- Les courants d'entrainement : ces courants provoquent un transport de masse qui coexiste avec certaines variétés de houles particulièrement les houles irrotationnelles (houles de Stokes).

- Le courant littoral de houle : il est rattaché au courant d'entraînement et dépend directement de la direction de propagation de la houle par rapport à la côte, de l'étendue et de la topographie de la zone de déferlement.

4.8. CAMPAGNE D'INVESTIGATION EN MER REALISEE LE 27/09/2013 (ETAT INITIAL DE L'ENVIRONNEMENT MARIN AVANT EXPLOITATION DES RADES C)

4.8.1. Déroulement de la mission et résultats

L'échantillonnage qui a eu lieu au niveau des stations est présenté suivant le tableau et la figure ci dessous.

L'échantillonnage comprenait, outre la position géo référencé des stations, l'heure de l'échantillonnage, la profondeur des stations, les températures de surface et de fonds ainsi que des prises de vues sous marine. Les échantillons ont été conservés dans de l'alcool 30 degrés, puis une fois ramené au laboratoire ont été tamisé (2 mm).

Le prélèvement de substrat et de sa biote a partir d'une aire standardise (30*30 cm2) et sur une profondeur maximale de 5 cm, dans les stations 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11 et 12 a été réalisé afin de pouvoir envisager l'identification des biocénoses et habitats prépondérants de ces stations ainsi que leur faciès ; cela a partir de l'analyse (qualitative) des listes d'espèces et du substrat.

Parmi l'ensemble des 12 stations,

- ✓ 3 d'entre elles (St1, St2, St3) sont situées soit dans le chenal d'entrée de l'eau de mer vers la centrale électrique soit dans les canaux d'évacuation de ces eaux. Pour ces stations nous n' avons pas pris d'échantillons par mesure de sécurité pour le plongeur technicien, seuls les mesures de la profondeur et les températures de surface et de fonds ont été réalisées.
- ✓ La station 7 n a pu être réalisée a cause d'un fort courant enregistré lors de notre accès sur le site, pour lequel il aurait fallu prévoir un lestage plus important pour le plongeur.
- ✓ La station (St 8) était considérée comme référence

La sortie terrain a eu lieu le 27 septembre 2013.

Il est important de noter que les apports d'eaux (rejets STEG) vont avoir les effets suivants :

- ✓ Une augmentation de la température de l'eau de mer qui sera mixé aux rejets chauds de la centrale électrique
- ✓ Un réchauffement des eaux dans l'aire des rejets et leur diffusion suivant les courants dominants.

Station	Longitude	latitude	Profondeur (m)	Températures		Vendredi 27/9/2013 a…
				Surface	Fonds	
S1	36°47'58.00"N	10°16'49.50"E	*4.9*	30.1		15h00
S2	36°47'43.62"N	10°17'7.00"E	*2.5*	32		09h50
S3	36°47'37.50"N	10°17'20.20"E	*1.9*	30		09h55
S4	36°47'48.40"N	10°17'20.60"E	*2.5*	*30*	*29*	11h45
S5	36°48'02.00"N	10°17'33.60"E	*3.1*	*30*	*27*	10h50
S6	36°47'46.20"N	10°17'41.00"E	*4.2*	*30.1*	*29*	12h00
S7	36°47'25.80"N	10°17'29.42"E	*3.4*	*32*	*31.5*	10h00
S8	36°47'11.90"N	10°17'9.93"E	*0.5*	30		13h05
S9	36°47'11.20"N	10°17'31.30"E	*3.6*	*32*	*28*	12h50
S10	36°46'52.50"N	10°17'39.60"E	*2.5*	*30*	*28.5*	13h50
S11	36°47'13.10"N	10°18'0.60"E	*4.3*	*30*	*28.5*	13h25
S12	36°47'28.60"N	10°17'48.10"E	*3.2*	*30*	*27.4*	12h20

Tableau 9: Position des stations échantillonnées, profondeur, température et heure de l'opération

Figure 45: Position des stations prospectées

Sts	P(m)	Caractéristiques	Remarques
1	***4.9***	Mesure température et profondeur	Stations situées sur les canaux d'entrées et de sortie de l'eau vers et a partir de la STEG.
2	***2.5***	Mesure température et profondeur	
3	***1.9***	Mesure température et profondeur	
4	***2.5***	Fonds meuble a sédiments fins caractéristiques des communautés des sables vaseux de mode calme (SVMC, Infralittoral supérieur), criques, baies et plages protégées de l'hydrodynamisme ainsi que des courants de fonds. Le Polychètes *Myxicola sp* (probablement *M.infundibulum*) et les mollusques bivalves (restes des valves) *Callista chione*, et *Venerupis pullastra*	SVMC. Facies appauvri. C est une biocénose qui est très appauvrie en terme de liste d'espèces, par rapport a celle qui s'installe sur les sable fins non envasées.
5	***3.1***	Fonds meuble vaseux caractéristique de l'habitat de la Cymodoce (*Cymodocea nodosa*) qui occupe ce substrat très envasé, et présentant un facies a bivalves notamment avec la présence *Cerastoderma glaucum, Kellia sp, Arca noe, Mytilus galloprovincialis, Pecten glaber, Turitella turbona (tous sous forme juvénile a part C. glaucum), Venerupis pullastra enfin Ruditapes*	SVMC, facies a Cymodocea et a mollusques bivalves : Odeur fétide caractéristique d'un biome ou les eaux sont plutôt stagnantes. Le facies a bivalves est surtout riche en *Ruditapes* et en formes juvéniles. La présence de C.glaucum signifierait la présence d'une résurgence d'eaux douces.

		decussatus et Loripes lacteus y sont abondants.	
6	***4.2***	Fonds meuble vaseux, avec une proportion élevée de vase rendant le substrat assez compacte, caractéristique des SVMC, facies a *Cymodoea nodosa*, néanmoins on notre l'absence d'odeur fétide. On note toutefois l'absence du crustacé décapode caractéristique des vases *Upogebia pusilla* et la présence de *Carcinus aestuarii.* Le peuplement est surout a dominance marquee de *Ruditapes decussatus*. Présence aussi de valves *d'Arca noe*.	SVMC facies a cymodocea nodosa. La présence du crabes Carcinus et l'absence d'un peuplement diversifie de bivalves indique que le milieu bénéficie d'un hydrodynamisme meilleure que celui de la station 5. Néanmoins la présence de C.aestuarii pourrait indiquer un indice de milieu plutôt pollué.
7	***3.4***	*Mis a part les températures de surface et profonde, cette station n'a pas été échantillonnée a cause du fort courant enregistrée au moment de l'échantillonnage qui rendait impossible l'accès au fond a cette position précise du plongeur*	
8	***0.5***	Fonds meubles a dominance sableuse (sable fin) et peu de vase. Juvenille de *Callista chione*, de *Loripes lacteus*, *Ruditapes decussatus*, *Venerupis pullastra*, du polychete *Heteromastus filiformis,* caractéristique des milieux lagunaire et des fonds sableux calmes. Enfin on note la présence du gastéropode de *Turitella turbona* .	*Turitella turbona* espèces commune de méditerranée essentiellement dans un sediment sableux vaseux des SVMC (faciès a Caulerpe et facies a Cymodoce) ainsi que *H. filiformis. Et Loripes lacteus,* caraterisiques des milieux lagunaire confines et des fonds sableux calmes.
9	***3.6***	Vase extrêmement compacte (SVMC) dénotant un milieu presque stagnant avec hydrodynamisme inexistant. La frequence des Annélides est importantes	Si le renouvellement es eux est tres faible au niveau de cette station, il en découle une exposition importantes aux risque de pollution. La présence Kellia corbuloides

		(*Heteromastus filiformis)* Présence de Bivalves *Kellia corbuloides* et de forme juvéniles de (*Ruditapes* et *Venerupis*) ; ainsi que du gastéropode *Littorina punctata*,	est significative de ce milieu vaseux confine.
10	***2.5***	Fonds meuble tres compacte a vase dominante. Présence de *Ruditapes decustatus, Ensis minor* du gastéropode *Cerithium vulgatum* et du polychète *Heteromastus filformis*	La présence de Ruditapes, d'Ensis, de Cerithium et de Heteromastus sont très significatives du confinnement du milieu et de son hydrodynamisme faible.
11	***4.3***	*Vase compacte sans couvert végétal, fraction sableuse presque inexistante. Nombreux annélides caractéristiques des SVMC. Paradonereis lyra*, *Heteromastus filiformis, Ruditapes decussatus*, de *Venerupis pullastra et Donax trunculus,*	Nous sommes en présence d un habitat indicateur de milieu extrêmement confine et ou les eaux ne sont que très partiellement renouvelées.
12	***3.2***	Vase extrêmement compacte, de couleur brun fonce à noir. Presence de *Donax trunculus*, *Tellina sp*, du Gastéropode *Cerithium vulgatum* et des polychètes *Heteromastus filiformis et Paradonereis lyra*	Vase d'odeur fétide, tres compacte et de couleur noire. La présence des annélides en grand nombre témoigne du caractère stagnant de ces eaux.

Tableau 10: Résultats de l'échantillonnage au niveau de chaque station

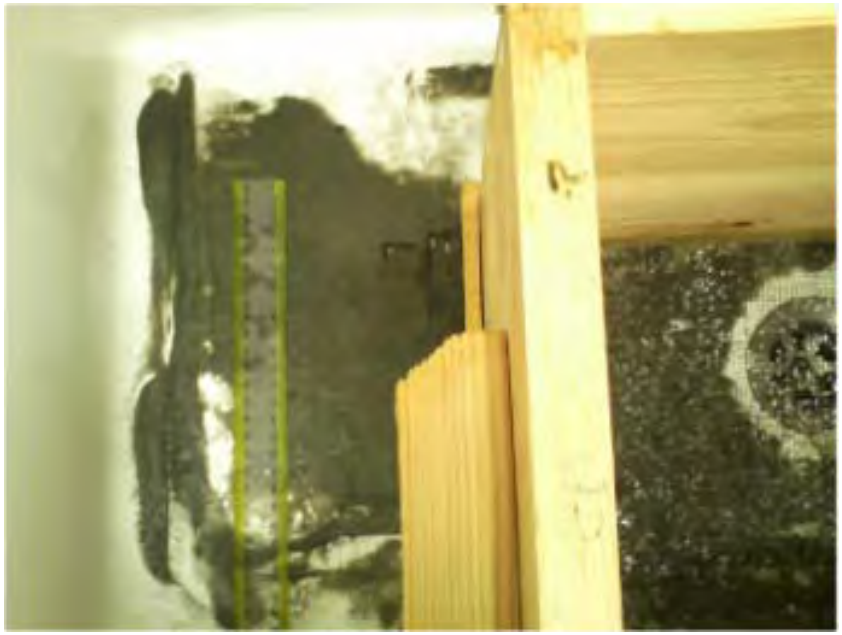
Stations	Vue générale	Détails
St4		
Remarque	SVMC. Facies appauvri. C est une biocénose qui est très appauvrie en terme de liste d'espèces, par rapport a celle qui s'installe sur les sable fins non envasées	

Tableau 11: Photographie sur terrain et au laboratoire des échantillons collectés au niveau de la station 4

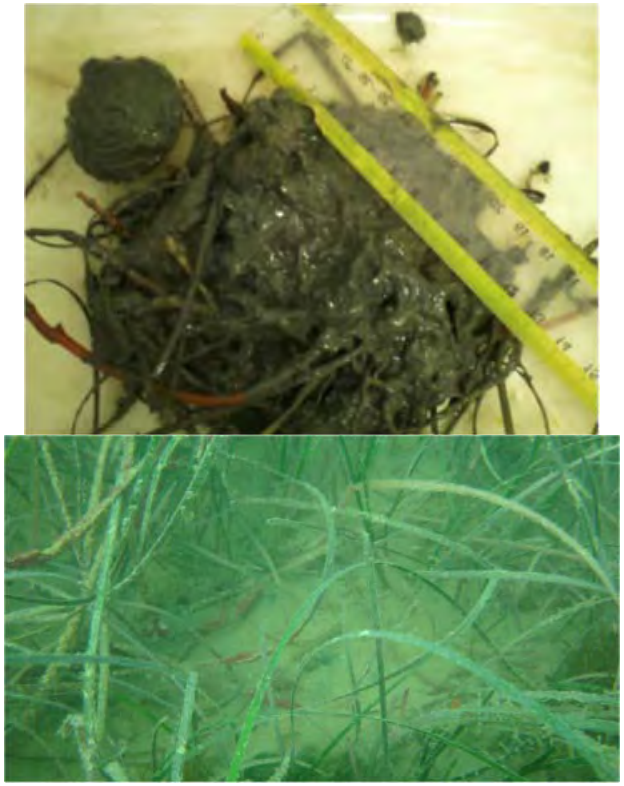
Stations	Vue générale	Détails
St5		
Remarque	SVMC, facies a Cymodoce et a mollusques bivalves : Odeur fétide caractéristique d'un biome ou les eaux sont plutôt stagnantes. Le facies a bivalves est surtout riche en *Ruditapes* et en formes juvéniles. La présence de C.glaucum signifierait la présence d'une résurgence d'eaux douces.	

Tableau 12: Photographie sur terrain et au laboratoire des échantillons collectés au niveau de la station 5

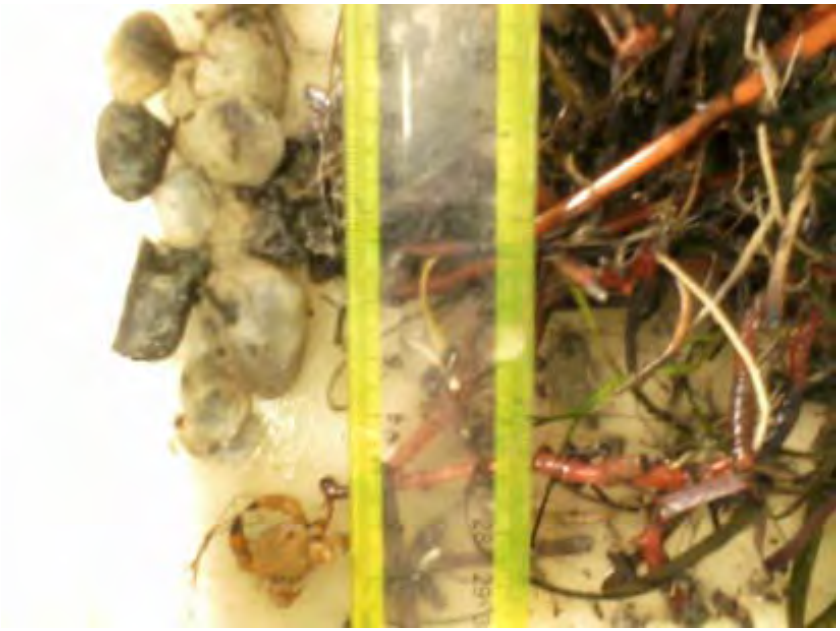
Stations	Vue générale	Détails
St6		
Remarque	SVMC facies a cymodocea nodosa. La présence du crabes Carcinus et l'absence d'un peuplement diversifie de bivalves indique que le milieu bénéficie d'un hydrodynamisme meilleure que celui de la station 5. Néanmoins la présence de C.aestuarii pourrait indiquer la présence d'un milieu pollué.	

Tableau 13: Photographie sur terrain et au laboratoire des échantillons collectés au niveau de la station 6

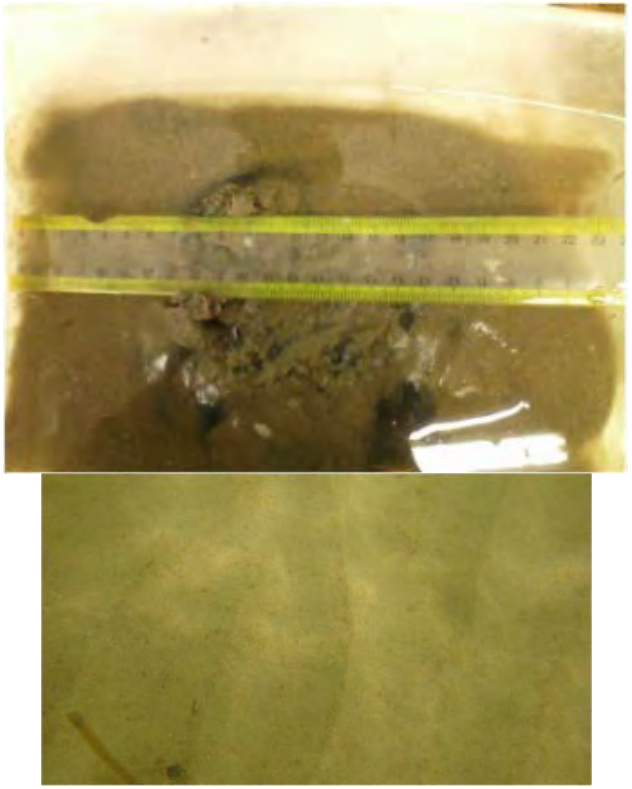
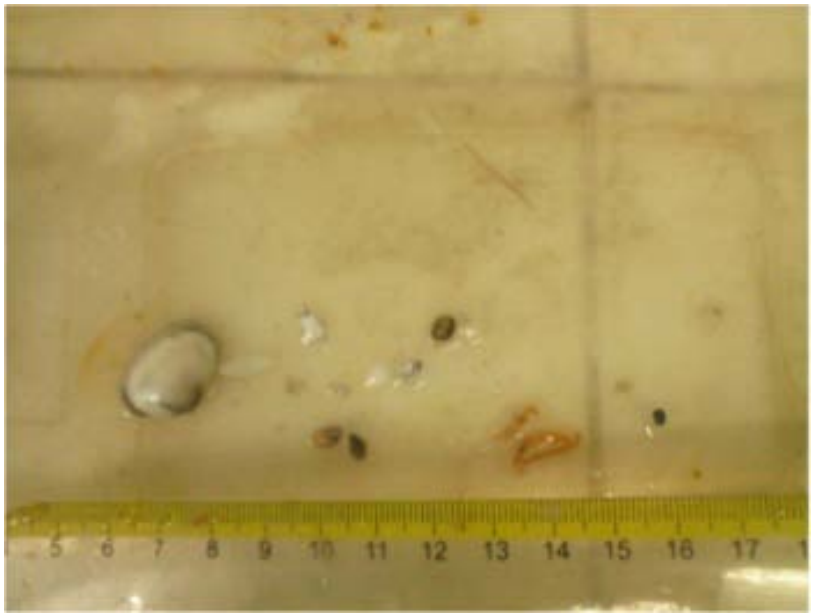
Stations	Vue générale	Détails
St8		
Remarque	*Turitella turbona* espèces commune de méditerranée essentiellement dans un sédiment sableux vaseux des SVMC (faciès a Caulerpe et facies a Cymodoce) ainsi que *H. filiformis. Et Loripes lacteus,* caractéristiques des milieux lagunaires confines et des fonds sableux calmes. La présence des ripples marks indique un hydrodynamisme significatif	

Tableau 14: Photographie sur terrain et au laboratoire des échantillons collectés au niveau de la station 8

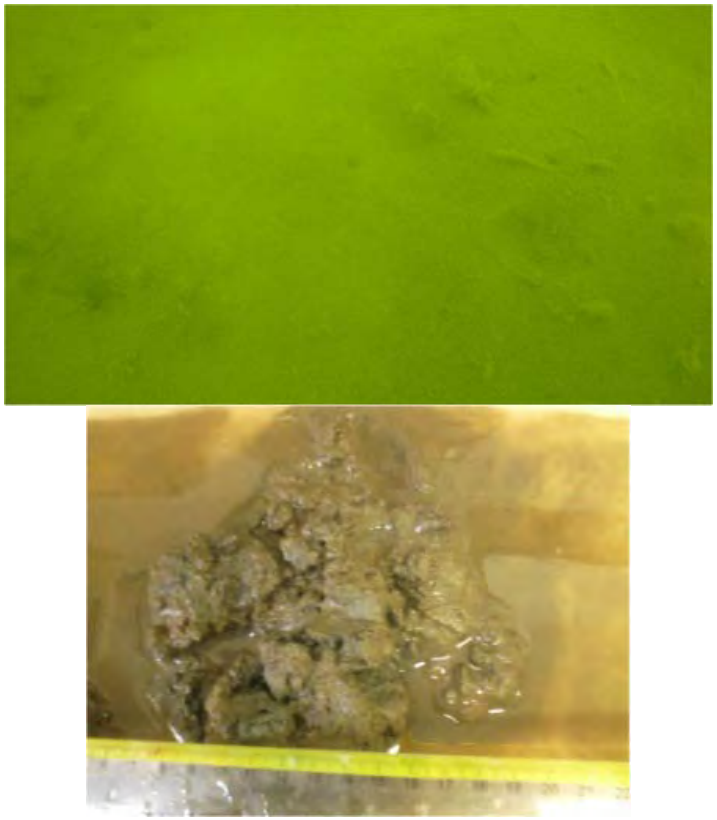
Stations	Vue générale	Détails
St9		
Remarque	Si le renouvellement es eux est très faible au niveau de cette station, il en découle une exposition importantes aux risque de pollution. La présence Kellia corbuloides est significative de ce milieu vaseux confine.	

Tableau 15: Photographie sur terrain et au laboratoire des échantillons collectés au niveau de la station 9

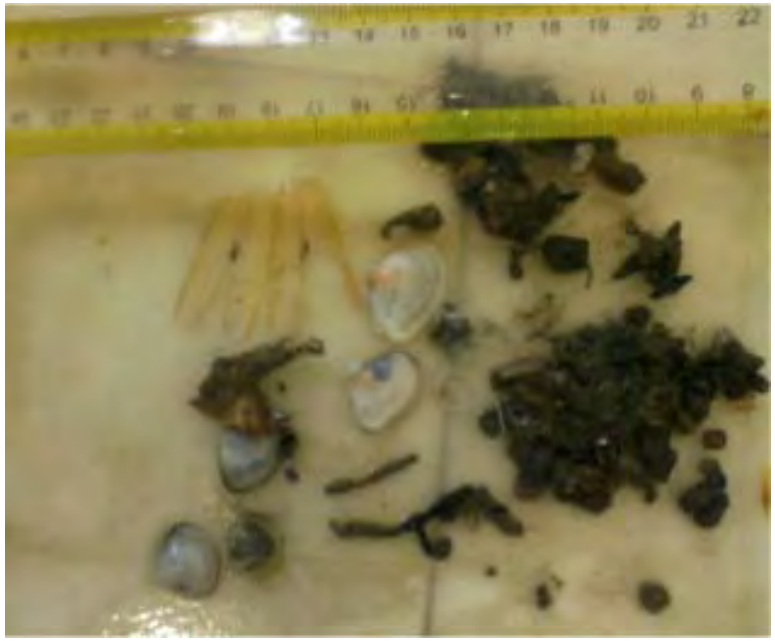
Stations	Vue générale	Détails
St10		
Remarque	La présence de Ruditapes, d'Ensis, de Cerithium et de Heteromastus sont très significatives du confinement du milieu et de son hydrodynamisme faible.	

Tableau 16: Photographie sur terrain et au laboratoire des échantillons collectés au niveau de la station 10

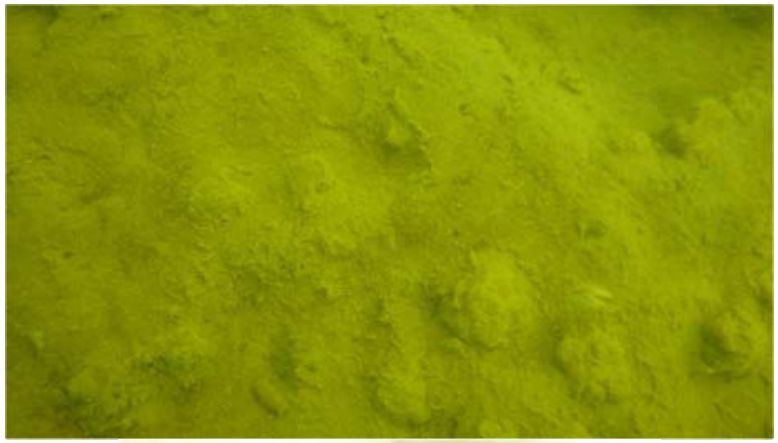
Stations	Vue générale	Détails
St11		
Remarque	Nous sommes en présence d un habitat indicateur de milieu extrêmement confine et ou les eaux ne sont que très partiellement renouvelées.	

Tableau 17: Photographie sur terrain et au laboratoire des échantillons collectés au niveau de la station

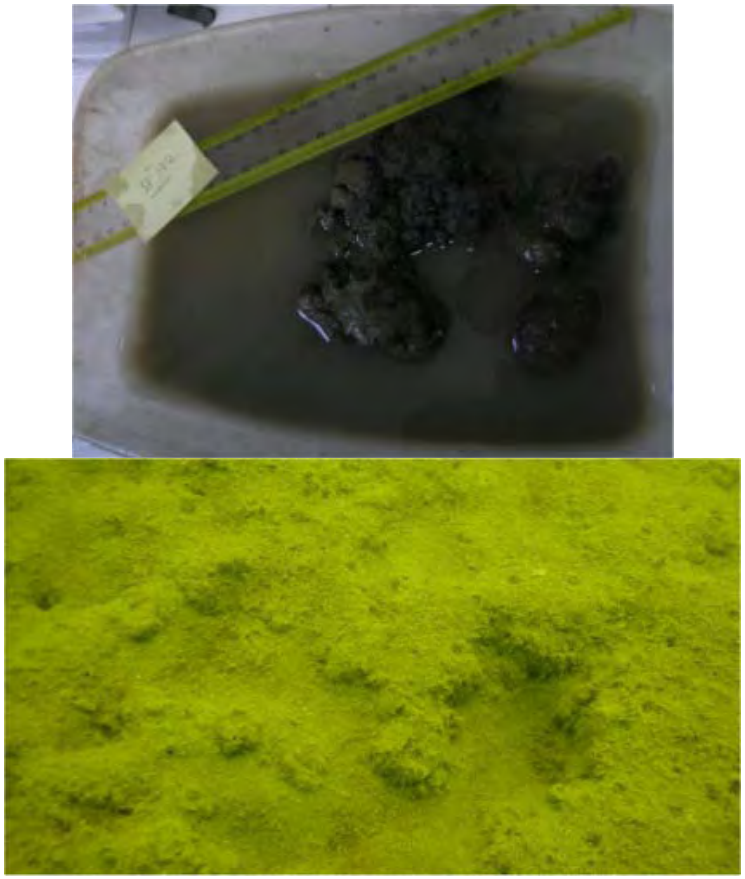
Stations	Vue générale	Détails
St12		
Remarque	Vase d'odeur fétide, très compacte et de couleur noire. La présence des annélides en grand nombre témoigne du caractère stagnant de ces eaux.	

Tableau 18: Photographie sur terrain et au laboratoire des échantillons collectés au niveau de la station

Stations	Profondeur	Liste espèces	Signification
4	***2.5***	*Myxicola sp* (probablement *M.infundibulum*) *Callista chione*, *enerupis pullastra*	*Myxicola est indicatrice des milieu bien abritee et vaseux.*
5	***3.1***	Cymodoce (*Cymodocea nodosa*) *Cerastoderma glaucum, Kellia sp, Arca noe, Mytilus galloprovincialis, Pecten glaber, Turitella turbona, Venerupis pullastra, Ruditapes decussatus et Loripes lacteus*	Bien que Cymodocea indique un facies sans dessalure (état normal de la biocenose) la présence de *Cerasmoderma* signifierait plutôt des apports d'eaux dessalées puisqu'elle caractérise aussi les biocénoses lagunaires euryhaline et eurytherme, confrontée en cela par la présence de Loripes.
6	***4.2***	*Cymodoea nodosa*, *Carcinus aestuarii.* *Ruditapes decussatus*, *Arca noe*.	*La présence de Carcinus indiquerait une eau polluée mais aussi bénéficiant d'un hydrodynamisme relativement plus important que dans les autres stations.*
8	***0.5***	*Callista chione*, *Loripes lacteus*, *Ruditapes decussatus*, *Venerupis pullastra*, *Heteromastus filiformis,* *Turitella turbona* .	*La présence d'Heteromastus, qui est une espèce dont l'hemoglobine importante qu'elle contient lui permet de s'oxygéner, et indique la présence d'une fraction vaseuse importante, indiquant le confinement du milieu (Loripes, Cerithium).*
9	***3.6***	*Heteromastus filiformis* *Kellia corbuloides*, *Ruditapes* sp, *Venerupis sp* ;	*Heteromastus indique un milieu fort envase, La présence de Kellia corbuloides indique que nous sommes en presence d'un habitat envase de mode calme (eaux calmes et protégées)*

		Littorina punctata,	
10	***2.5***	*Ruditapes decustatus, Ensis minor* *Cerithium vulgatum* *Heteromastus filformis*	*Milieu confine caractérisée par la présence d'Heteromsatus et de Cerithium.*
11	***4.3***	*Paradonereis lyra*, *Heteromastus filiformis, Ruditapes decussatus*, *Venerupis pullastra et Donax trunculus,*	*Heteromastus indique un milieu fort envase. La présence de Donax et de Ruditapes indiqueraientt des apports tropiques importants*
12	***3.2***	*Donax trunculus*, *Tellina sp*, *Cerithium vulgatum* *Heteromastus filiformis et Paradonereis lyra*	*Malgré la fraction vaseuse importante, Heteromastus, qui est une espèce dont l'hemoglobine est importante, lui permet de s'oxygéner.*

Tableau 19: Liste des espèces rencontrées par station

4.8.2. Discussion des résultats:

Aussi bien les espèces rencontrées que la texture et la compacité du substrat indiquent que nous sommes en présence de la biocénose des sables et vases de mode calme **(SVMC)** appelée aussi biocénose des sables vaseux superficiels de mode calme **(SVSMC)** de l'étage infralittoral supérieur. Les facies rencontrées sont soit ceux a Cymodoce bien que cette dernière ne soit présente que dans les stations 5 et 6 (station 5 et 6) ; facies a Ruditapes, Loripes etc, facies a Kellia et facies Cersatoderma (cette dernière pourrait indiquer la présence d un courant d'eau de fonds dessalés).

Quant a l'effet direct des rejets des centrales électriques, l'impact combiné direct (rejets) et indirecte (digue de protection, canaux de captage etc.) a rendu cette partie de la rade de rades-la goulette extrêmement confinée et significative d'un milieu presque fermé dans certains cas (Stations 5, 9, 10, 11 et 12) ; ces stations seraient donc celles qui ont subis l'impact le plus important des activités directes ou pas des centrales STEG.

Néanmoins la station 8 est ses ripples marks bénéficie de mouvements d'eaux importants (0.5 m de profondeur) mais pas assez importants pour empêcher la fraction fine et les vases de s'y installer.

CHAPITRE 5. ANALYSE DES CONSEQUENCES PREVISIBLES, DIRECTES, INDIRECTES ET CUMULATIVES DU PROJET SUR L'ENVIRONNEMENT

5.1. INTRODUCTION GENERALE:

L'extension de la centrale à cycle combiné bi-arbre génère un certain nombre de nuisance sur l'environnement. En effet la production de l'énergie électrique moyennant l'utilisation du gaz naturel comme combustible principal à travers les divers équipements installés, serait à l'origine à la fois d'émissions de polluants et fumées au niveau des cheminées et de rejet d'eaux chaudes dans la mer, et ce, en plus des émissions sonores, des déchets solides et des déchets de produits chimiques et lubrifiants après utilisation.

A fin de minimiser les impacts négatifs du dédoublement de la centrale de Rades sur l'environnement, des mesures spécifiques compensatoires et d'atténuation devraient être identifiées et mises en œuvre pour pallier aussi bien aux effets générés lors de l'exploitation normale des installations qu'à ceux éventuellement survenus en cas d'accidents.

Les divers types d'impacts potentiels susceptibles de se produire durant la période d'exploitation de la centrale thermique seront traités dans ce chapitre.

Pour évaluer les impacts actuels, il a été jugé utile d'effectuer d'une part des campagnes de mesures in-situ, et d'autre part des simulations par modélisation numérique:

- Mesures in-situ : les campagnes de mesures ont concerné aussi bien le milieu marin récepteur des effluents chauds et autres rejets de la centrale, que les espaces à l'intérieur de l'usine et les locaux abritant les installations. Les mesures en mer nous ont permis d'apprécier, en plus de l'état initial de l'écosystème, l'identification des effets ou impacts des rejets des eaux de refroidissement qui avaient lieu actuellement, ainsi que la sensibilité ou la vulnérabilité de ce milieu récepteur.
- Modélisations numériques : des calculs ont été effectués par les modèles numériques en vigueur et vérifiés par des mesures in-situ. Ils ont permis aussi d'évaluer les impacts prévisibles après l'augmentation des rejets et émissions issus de la centrale. La modélisation a été faite aussi bien pour la dispersion des gaz dans l'atmosphère, que pour la tâche thermique des rejets en mer.

Dans cette partie du rapport, nous traitons les impacts relatifs à la période de construction et ceux générés de la phase exploitation.

5.2. LES DIFFERENTS TYPES D'IMPACTS :

Les notions d'"effet" et d'"impact" doivent être précisées. Par "effet", il faut comprendre les conséquences objectives d'un projet sur l'environnement. L'impact est une estimation des conséquences (positives ou négatives) de l'effet pris dans son contexte.

Dans ce chapitre sont présentés les divers types d'impacts potentiels susceptibles de se produire durant la période de construction, d'exploitation et de post-exploitation du gazoduc. L'appréciation de ces impacts devrait nous aider à déterminer les mesures nécessaires pour les éviter ou les compenser.

5.2.1. Impacts directs ou indirects

L'étude d'impact ne doit pas se limiter aux seuls impacts directement attribuables aux travaux et aménagements projetés. Elle doit aussi tenir compte des impacts indirects, notamment ceux qui résultent d'autres interventions destinées à prolonger ou corriger les conséquences directement imputables à la réalisation des travaux. Ces impacts indirects sont généralement différés dans le temps et dans l'espace.

5.2.2. Impacts temporaires ou permanents

L'étude distinguera les impacts selon leur durée. Elle traitera aussi bien les impacts temporaires, liés à la phase de réalisation des travaux nuisances de chantier, notamment circulation de camions, bruit, poussière, vibrations, odeurs, etc. que les impacts plus durables mais dont les effets s'atténuent progressivement jusqu'à disparaître ainsi que les impacts permanents que le projet doit s'efforcer d'éliminer, de réduire ou, à défaut, de compenser.

5.3. LES MESURES PERMETTANT UNE MEILLEURE INSERTION DU PROJET DANS SON ENVIRONNEMENT

5.3.1. Mesures de réduction voire de suppression des impacts

5.3.2. Mesures compensatoires :

Ce sont les mesures destinées à compenser les effets négatifs qui n'ont pu être supprimés ou insuffisamment réduits (ex : reconstruction d'un équipement collectif, reboisement d'emprises en compensation de celles défrichées pour les besoins du projet…).

5.3.3. Mesures d'accompagnement de projet :

L'objectif est ici d'optimiser les effets positifs et de maîtriser les effets induits par le projet.

5.4. ANALYSE DES CONSEQUENCES PREVISIBLES, DIRECTES, INDIRECTES ET CUMULATIVES DU PROJET SUR L'ENVIRONNEMENT

5.4.1. Impacts potentiels générés en phase chantier

Pendant la phase construction des différents composants du projet, les travaux du chantier risquent de générer des impacts négatifs qui peuvent se manifester notamment lors de : fouilles et excavation, déboisement et décapage de couverture végétale, déblaiement, etc.

En fait ; dans cette partie du rapport nous allons détailler les effets générés au cours de la phase de construction de la nouvelle centrale. Mais il est nécessaire en premier lieu de rappeler les principales étapes de construction, qui comportent :

- Les travaux de fondation qui englobent les différentes opérations relatives aux fouilles, au terrassement et à l'aménagement des fondations pour les différentes structures de la centrale.

La réalisation de ces travaux nécessite la mobilisation d'engins lourds (trax, bulldozer, camions, etc.) Ce qui va générer localement quelques nuisances sonores, des émissions de poussières dans l'atmosphère et l'accumulation de certains déchets de terrassement à l'intérieur du terrain de la STEG.

- Les travaux de coulage du béton: ces différents travaux en béton seront réalisés pour les ouvrages tels que la cheminée et la structure de base pour la salle des machines et des chaudières. La réalisation de ces travaux nécessite des quantités importantes des matériaux de construction (gravier, sables, ciments…). Par conséquent, il serait utile de mobiliser des engins motorisés tels que des camions, des grues, des bétonnières. Le fonctionnement de ces engins et l'utilisation des matériaux de construction va produire des nuisances sonores et des émissions de poussières.

- Les constructions métalliques: la chaudière et leurs accessoires seront construites à l'aide d'un support solide formé de charpentes métalliques. Les divers impacts relatifs à la construction de cette charpente sont relativement faibles.

- La mise en place et le montage des divers équipements électriques: les effets de cette phase sur l'environnement sont négligeables, mais ces opérations exigent des précautions particulières pour assurer la sécurité du personnel.

5.4.1.1. Impacts sur le sol

Les travaux projetés auront des impacts sur les sols assez limités, vu que :

- l'influence du projet se limite au terrain de la STEG,
- la nature du sol, constitué principalement des sebkhas, est de faible rendement agricole,
- la vocation actuelle de la zone du projet est l'activité industrielle,
- les déblais issus des travaux de fondation seront transportés aux lieux de décharge contrôlés.

Ainsi, les risques sur le sol seront limités aux déversements éventuels de déchets dangereux (huiles lubrifiantes, etc.) et la modification de la couche superficielle de l'endroit traversé.

5.4.1.2. Impacts sur les eaux superficielles

Les travaux de construction n'auront aucun impact sur l'écoulement ou la qualité des eaux de surface de la zone étant donné que la zone du projet se trouve en aval du cours d'eau. Toutefois, des mesures de précaution particulières devraient être prises lors des travaux de l'extension du canal du rejet des eaux de refroidissement .

5.4.1.3. Impacts sur les eaux souterraines

Il n'existe aucun risque sur la qualité et la piézométrie de la nappe phréatique, pendant la période d'exécution du projet, vu que :

- La profondeur de la fondation ne peu pas atteindre le niveau piézométrique de la nappe ;
- La lithologie imperméable du sol ne favorise pas l'infiltration ;
- Aucun produit dangereux ne sera utilisé lors des travaux de construction ;
- Le personnel du chantier sera logé dans les villes voisines et aucun campement ne sera installé dans la zone des travaux ;
- Les fournitures du chantier seront stockées dans les aires de la STEG et ceci évitera les nuisances généralement générées par ces lieux, en particulier les eaux usées et les déchets solides.

5.4.1.4. Impacts sur la faune

Etant donné la nature du terrain de la zone de projet (zone industrielle), aucune faune particulière n'est présente. Les travaux d'extension de la centrale de Rades C n'auront aucun impact négatif sur la faune.

5.4.1.5. Impacts des bruit et poussières

La réalisation des travaux de construction avec ces différentes étapes nécessite la mobilisation d'engins lourds (trax, bulldozer, camions, etc.) ce qui va engendrer localement quelques nuisances sonores et des émissions de poussières dans l'atmosphère.

Ainsi l'utilisation des matériaux de construction, sable, ciment et gravier, va produire des émissions de poussière lors de leur transport ou pendant leur stockage.

Les émissions de poussière peuvent s'accentuer pendant le mois d'Automne vu la vitesse excessive du vent durant cette période, ce qui peut affecter les environs du site du projet. Pour cette raison il est nécessaire d'aménager un parc de stockage approprié pour les matériaux de construction.

5.4.1.6. Impacts des déchets produits par le chantier

Les différentes étapes des travaux de construction de la centrale électrique sont susceptibles d'engendrer le rejet de déchets solides en l'occurrence les déchets domestiques (nourritures, emballages, ...), les débris de végétation, les restes de matériaux de constructions, les ferrailles, etc. De tels déchets représentent une source de pollution, qui reste tout de même facile à maîtriser vu que le site du projet est délimité. Néanmoins, il est à rappeler qu'aucun déchet dangereux ne sera pas généré.

Il est à rappeler, encore une fois, qu'aucun campement du personnel du chantier ne sera aménagé dans la zone des travaux, ce qui limitera la production des déchets

5.4.1.7. Impact des déchets solides

Sur le site de la centrale, il faut faire le point sur les déchets directement réutilisables, sur les déchets recyclables ou valorisables en filières spécialisées.

Les déchets ménagers et assimilés doivent être collectés et évacués vers la décharge la plus proche.

La filière de collecte et de recyclage des batteries ou accumulateurs usagées est soutenue par l'intervention des deux grands fabricants locaux en Tunisie.

5.4.1.8. Impacts des huiles d'engins

Bien que les engins soient entretenus dans des stations autorisées, d'éventuelles huiles de vidange émanant de la machinerie sur chantier, ne sont pas à exclure. Ces huiles représentent des sources de pollution potentielles qui altère la qualité du sol et les ressources en eau en cas de rejets directs.

De ce fait, les opérations d'entretien doivent se faire dans un lieu approprié (station de services..) pour éviter toute contamination des sols par les hydrocarbures et les graisses à moteurs. Il est préférable que ces huiles soient collectées, dans des conditions appropriées, en vue de les livrer à la SOTULUB.

5.4.1.9. Impacts sur les infrastructures et les constructions

Les infrastructures existantes dans la zone d'influence du projet sont : la centrale existante, la route régionale RR33 et le port de Rades.

A l'exception de la centrale existante, aucune autre infrastructure ne pourrait être soumise à l'endommagement lors de l'exécution de travaux de construction, ni par la poussière et le bruit, ni par les éventuels accidents.

5.4.1.10. Impact sur la sécurité et l'hygiène

Pendant la phase de construction, les risques d'accidents seront toujours présents, comme pour tous les travaux courants. Ces accidents pourraient survenir lors de :

- l'utilisation des engins et des camions,
- la manipulation des pièces lourdes,
- les travaux de construction métallique,
- les tests de mise en marche.

5.4.1.11. Impact sur l'emploi

Durant cette phase, le chantier d'exécution de la centrale va démarrer par des travaux de génie civil qui feront appel à de la main d'œuvre gros béton, puis en fonction de l'avancement des travaux, il sera fait appel à d'autres qualifications telles que les mécaniciens et les électriciens. Leur intégration dans les chantiers se fera graduellement.

Etant donné que l'adjudicataire assurera tous ces travaux soit directement, soit indirectement à travers des cotraitants ou bien des sous traitants, et vu que certains travaux spécifiques et pointus seront assurés par différents employés soit des Tunisiens soit des étrangers, on estime selon des travaux de simulation de la création d'emploi au niveau de la centrale de Rades, le besoin à environ 500 hommes jour durant 33mois.

L'allure des besoins en emploi sera progressive jusqu'au période de pointe, puis elle sera dégressive au fur et à mesure de l'achèvement des trois principales composantes : génie civil, Mécanique, électrique.

L'entrée en activité de ces emplois locaux et étrangers sera graduelle et elle évoluera selon le calendrier des travaux et le planning d'exécution à établir entre la STEG et l'adjudicataire du marché.

5.4.2. Impacts potentiels générés en phase d'exploitation

Dans cette partie du rapport, nous allons présenter les divers types d'impact susceptibles de se produire durant la période d'exploitation de la nouvelle extension. L'évaluation de ces impacts nous permet de déterminer les mesures nécessaires pour les éviter ou les compenser (chapitre suivant).

Les principaux impacts susceptibles d'être générés au cours de la phase d'exploitation sont ceux issus :

- des installations,
- des émissions sonores et de vibrations,
- du rejet des eaux de refroidissement,
- des émissions atmosphériques.

5.4.2.1. Impacts des installations (Circuit Gaz)

La turbine à gaz sera alimentée par du gaz naturel acheminé par le réseau national (gazoduc). Un poste de détente permet de filtrer et de réduire la pression du gaz avant son passage aux brûleurs.

L'exploitation du poste de détente, en respectant les normes de sécurité, ne doit pas présenter d'impacts sur l'environnement. Cependant, toute fuite de gaz, ou toute anomalie au niveau des équipements de traitement du gaz ou des instruments de contrôle pourrait avoir des conséquences graves en matière de protection de l'environnement et de sécurité du personnel. Le danger principal par suite d'une fuite de gaz étant l'incendie en cas de contact avec du feu (ou d'étincelles).

5.4.2.2. Circuit de Gas-oil

Le gas-oil utilisé comme combustible secondaire dans la nouvelle centrale électrique, est délivré par des camions citernes dans un réservoir de stockage.

Le gas-oil alimente la turbine à gaz à travers un circuit d'alimentation entre le réservoir de stockage et la turbine à gaz.

Il est certain que toute fuite de gas-oil entraînerait des nuisances sur le milieu environnant. Cependant, tout déversement accidentel de fuel sera immédiatement contenu à l'intérieur de la cuvette de rétention prévue à cet effet, et ne pourrait donc avoir d'effet sur la contamination des eaux de surface et marine, ou constituer un danger pour les richesses naturelles aquatiques et écologiques (végétation, poissons, oiseaux, etc.).

5.4.2.3. Les produits chimiques

Lors de la mise en service de la nouvelle centrale électrique, divers produits chimiques seront utilisés. Ces produits seront entraînés avec les eaux de lavage vers une fosse de neutralisation, permettant la transformation des divers effluents en solutions aqueuses obéissant aux normes de rejet en vigueur. Ainsi traités, les effluents seront rejetés dans le milieu récepteur marin.

5.4.2.4. Les huiles

On distingue deux types d'huiles : les huiles usuelles de lubrification qui sont utilisées pour les divers moteurs (pompes, turbines, etc.) et les huiles spéciales utilisées pour les transformateurs électriques. Les impacts potentiels peuvent être la conséquence d'un déversement des huiles de vidange, par exemple dans le milieu hydrique, avec passage éventuel vers les eaux marines à travers le circuit de collecte des eaux de la centrale. Cet impact accidentel grave constitue une source de contamination de second degré du milieu naturel. Les huiles des transformateurs contiennent des produits dangereux et constituent un danger grave pour la santé publique.

5.4.2.5. Impacts sonores et vibrations aux récepteurs sensibles

Les équipements la centrale électrique de Rades C sont sans effet sonore négatif.

En effet, la STEG n'autorise pas des équipements dont l'effet sonore dépasse la norme admise dans les lieux de travail. Par ailleurs, la pollution sonore au niveau des environs de la centrale est imperceptible.

En ce qui concerne les vibrations, tous les équipements utilisés, selon la STEG, seront conformes aux normes et ne produisent aucune menace de vibration ni à l'intérieur de la centrale ni sur les voisinages.

5.4.2.6. Impacts potentiels des émissions atmosphériques sur la qualité de l'air

Les émissions, liées au fonctionnement de la turbine à gaz, proviendront de la combustion du gaz naturel au niveau de la chambre de combustion.

En comparaison à d'autres combustibles (fuel, charbon...) utilisés sur des installations similaires, les rejets atmosphériques d'une combustion de gaz naturel en turbine sont moins importants en nombre de substances et en quantité de polluants rejetés. En effet, le gaz naturel est le moins polluant des combustibles fossiles.

Les gaz de combustion seront constitués des oxydes d'azote, des oxydes de soufre et du monoxyde de carbone.

La combustion du gaz naturel qui est un produit gazeux en cycle combiné ne produit quasiment pas de poussières contrairement à la combustion d'autres énergies primaires (charbon, pétrole, bois...). La turbine à gaz est équipée de médias filtrants destinés à la protéger contre les effets mécaniques de la poussière présente dans l'air ambiant. La concentration des poussières rejetée par la turbine à gaz est donc nettement inférieure à la concentration des poussières préexistante dans l'air ambiant

Au cours de la phase d'exploitation de la centrale, les principaux gaz émis par la cheminée sont des produits de combustion des carburants. Les principaux gaz polluants émis sont des SOx, des NOx et des poussières. Les impacts qui peuvent se manifester et consécutifs à ces émanations, sont présentés dans ce qui suit:

a. Les oxydes de Soufre

L'oxyde de Soufre (SOx) ou anhydride sulfureux est connu depuis longtemps comme une substance phytotoxique. Les dégâts dus au SO, sont plus fréquents en années humides et froides qu'en années sèches et chaudes. Les symptômes caractéristiques des attaques dues au SOx sont surtout des taches inter-nervaires claires ou rouges brunes sans que les nervures soient affectées.

De même les substances particulaires ou gazeuses qui se déposent à la surface des feuilles peuvent contribuer à boucher les stomates et couvrir les surfaces assimilatrices, d'où une baisse de la production par une diminution de la photosynthèse. Des concentrations importantes en dioxyde de soufre peuvent provoquer, selon la durée d'exposition et la résistance des personnes exposées, des troubles respiratoires plus ou moins graves. Il intervient de façon prépondérante dans les phénomènes des pluies acides et de dépérissement des forêts et des plantes. En association avec d'autres éléments, il participe également à la dégradation des constructions.

b. Les oxydes d'Azote

Les oxydes d'azote (NOx) résultent principalement de la combinaison entre l'oxygène et l'azote de l'air sous l'effet des hautes températures obtenues dans les processus de combustion. Ils sont émis généralement, pour les 3/4 environ, par les moteurs de véhicules automobiles et, pour 1/4, par les installations fixes (installations de combustion de toute taille et certains procédés industriels tels que la fabrication de l'acide nitrique). Le dioxyde d'azote est un agent agressif pulmonaire pouvant entraîner des bronchites chroniques. Les oxydes d'azote interviennent de manière importante, et après le dioxyde de soufre, dans les phénomènes de pluies acides par leur caractère de polluant acide et par leur rôle dans la pollution photo-oxydante.

c. Les poussières

Les poussières peuvent avoir des origines diverses (des installations industrielles ou de la manutention des différents produits). Leur dépôt sur les feuilles des arbres peut réduire le taux de pénétration de la lumière (facteur limitant de la croissance) et par suite cause des troubles de croissance. En synergie avec le dioxyde de soufre, les poussières peuvent provoquer des difficultés respiratoires chez les personnes fragiles.

Ces polluants qui seront issus de cette nouvelle centrale seront émis par une cheminée avec des dimensions bien choisies et bien adaptées.

Les dimensions de la cheminée (hauteur et diamètre) et la vitesse élevée de l'échappement vont permettre de :

- Favoriser la dispersion des polluants dans les hautes atmosphères,
- Diminuer les retombées au sol des différents polluants émis tels que NO2, SO2, CO et CO2 et poussière,
- Eloigner les retombées de la proximité immédiate de l'usine vers des zones plus éloignées. Les molécules de polluant ainsi dispersées subissent, au contact de l'oxygène de l'air, de

changements dans leur composition chimique, ce qui constitue une autoépuration naturelle avant que les polluants résiduels atteignent le sol.

Nous pouvons confirmer dans le cadre de cette étude que les dégagements atmosphériques de cette nouvelle extension de la centrale électrique de Rades ne présentent aucune menace ni sur la santé, ni sur l'environnement et ils ne dépassent pas les normes Tunisiennes et internationales. Nous précisons que cette étude inclut les cas extrêmes les plus défavorables de fonctionnement pour avoir les estimations les plus précises pour une installation favorable et conforme aux normes.

5.4.2.7. Altération de la qualité ou pollution des eaux de surface ou des eaux souterraines

Durant la période de fonctionnement de la nouvelle centrale électrique, aucun effet ou modification ne sera manifesté sur la qualité des eaux souterraines ou de surface.

Pour les eaux souterraines, les eaux de pompage et de rejet circuleront dans des canaux imperméables exécutés en béton.

En ce qui concerne les eaux usées domestiques, elles seront récupérées dans une fosse septique et vidées périodiquement à l'aide de camions-citernes.

Signalons en outre, que vu la nature du site (sols halomorphes), les eaux de la nappe phréatique sont de mauvaise qualité physico-chimique (eaux salées), et de ce fait, il n'y aura pas de risque remarquable de modification de la qualité de ces eaux.

Pour les eaux de surface, les rejets de la nouvelle centrale seront de même nature que ceux de la centrale actuelle (eaux de mer non polluantes). Ces rejets seront drainés au niveau de la mer.

Par ailleurs, le seul impact constaté est celui du réchauffement de l'eau pompée utilisée pour le refroidissement de la centrale et rejetée avec le gain de quelques degrés Celsius à la sortie de la centrale.

5.4.2.8. Impacts du aux opérations de dragage du bassin d'aspiration

Le dragage la centrale de Rades est une opération qui consiste à aspirer les sédiments et les déchets solides du fond du bassin d'aspiration des eaux de mer. C'est une opération nécessaire lors du colmatage du bassin et lors d'apparition des problèmes au niveau d'aspiration des eaux de mer.

Les effets des opérations de dragage se manifestent essentiellement lors du rejet des déchets solides issus du fond du bassin (sédiments, algues, matières organiques confinées…), ces déchets sont susceptible de contaminer les ressources en sols (mauvaise odeur, couleur noirâtre) et peut nuire à l'activité touristique limitrophe.

Figure 46: sédiments, algues etc. retenus dans les grilles de la station de pompage

5.4.2.9. Impacts sur la qualité et la vocation des sols

Aucune modification ne sera réalisée sur la qualité et la vocation des sols dans la zone de projet vue que :

- La zone est d'origine à vocation industrielle ;
- L'influence du projet se limite au terrain de la STEG ;
- Les sols de ce terrain sont de faible rendement agricole

5.4.2.10. Les risques majeurs

Lors de l'exploitation de la centrale, les risques majeurs qui pourraient se produire sont essentiellement :

- l'explosion d'un transformateur ou réservoir du gas-oil;
- l'explosion d'une chaudière;
- le détachement de quelques ailettes de la turbine;
- l'apparition d'une fuite de gaz au niveau du poste de détente générant un incendie;
- un cas d'occurrence d'un sinistre ;
- un tremblement de terre.

5.4.2.11. Impact sur le paysage

Le terrain du projet fait partie de l'ancienne centrale électrique existante. Ce terrain appartient à la zone à vocation industrielle depuis des décennies. Les éléments dominant le paysage global de la zone du projet sont la centrale existante avec ses constructions métalliques, la zone industrielle de Rades, le port de Rades Cité Mallaha et la plage de Rades.

Les nouvelles structures issues des travaux d'aménagement de la nouvelle centrale s'insèrent tout à fait dans l'ensemble paysager actuel. Les aménagements nouveaux qui vont être mis en place sont de même nature que ceux existants. Le paysage global qui va en résulter sera de même nature.

Figure 47: plan générale de la centrale et de ses environs

Figure 48: Plan générale de la centrale de Rades A -B et C

5.4.2.12. Impact socio-économique

a. Impact économique

Sur le plan socio-économique, la réalisation de ce projet s'inscrit dans la stratégie nationale de production de l'énergie électrique à fin de satisfaire les besoins continus de ce produit stratégique.

Le choix du site actuel (la centrale de rades déjà existante) représente une bonne opportunité pour l'économie nationale en matière de réduction du coût du projet ainsi que sur le plan environnemental.

En effet le choix du site particulier de la centrale existante (la centrale projetée constitue une extension de celle actuellement en fonctionnement) permet de bénéficier des avantages relatifs à l'exploitation et à la valorisation du site (disponibilité de terrain approprié à l'implantation de la nouvelle centrale,…) et des équipements et infrastructures de la centrale existante (existence de réseaux, possibilités de raccordements, …). Ces avantages sont de nature à optimiser les investissements à consentir.

De plus, la proximité du site actuel de la mer constitue un avantage de plus vu que l'eau de mer est une source vitale pour la centrale électrique pour le refroidissement des équipements.

b. Impact sur l'emploi

En ce qui concerne la phase d'exploitation de la centrale, on estime d'après les données collectées auprès de la STEG que le nombre de postes d'emplois à créer par la centrale à partir de l'année 2017 sera de l'ordre de 90 agents répartis comme suit :

- 40 agents d'exploitation
- 40 agents d'entretien
- 10 agents de gestion (contrôle technique et logistiques)

Par ailleurs, on estime que pour les deux phases du projet il y'aura d'autres effets indirects sur l'emploi qui sont attendus et qui concernent tous les travaux de prestations de services assurés par d'autres opérateurs dont leur effectif ne peut être déterminée avec exactitude. Parmi ces travaux on peut citer : les travaux de préparation des tonnes d'acier dont elle aura besoin la centrale, la préparation de la charpente, la partie électrique, les tableaux de commande, les constructions métalliques, la tuyauterie, la soudure, le montage, les traitements de surface, …etc. Toutes ces prestations vont se traduire par des appels d'emploi qui seront exécutés en dehors du projet. Il y'aura d'autres qualifications qui vont travailler indirectement pour satisfaire les besoins

du projet en différentes composantes, ces qualifications seront soit d'origine locale (Tunisien), soit d'origine étrangère.

Parallèlement, Il y'aura le développement de services auxiliaires et annexes qui vont travailler pour satisfaire les besoins de la population des employés. Parmi ces services, on cite :

- Le transport du personnel employé,
- Les opérations de restauration,
- Les opérations d'hébergement,
- Les divers besoins en d'autres services pouvant être assurés par des locaux : hygiène, commerce, divertissement.

Il est attendu donc une dynamique économique qui va s'introduire dans la région.

Tous ces impacts montrent l'intérêt de réaliser le projet aussi bien pour la collectivité que pour la STEG.

5.5. CONCLUSION

Le projet de création de la centrale électrique de Rades C va engager une dynamique économique dans la zone et va contribuer à créer des postes d'emplois supplémentaires dans la zone et à distribuer une masse salariale importante.

5.6. MATRICE DES IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT

Dans ce cas précis, nous avons choisi d'utiliser la matrice d'interaction des éléments

Tableau 20 : Evaluation des interactions du projet pendant la phase de construction

Eléments de l'environnement / Activités sources d'impact	Eau					Sol			Faune et Flore			Air		Climat et Paysage			Socio économie														
	Intégrité des plans d'eau et bas-fonds	Ecoulement des cours d'eau	Qualité des eaux de surface	Qualité des eaux souterraines	Disponibilité de la ressource en eau	Forme du relief	Qualité des sols et du sous sol	Texture et structure du sol	Flore (végétation)	Faune et habitats	Espèces menacées ou protégées	Qualité de l'air et odeur	Climat sonore (bruits et vibrations)	Microclimat	Climat global	Paysage	Patrimoine naturel et culturel	Espace agricole	Espace forestière	Espace pastorale	Santé publique	Commerce et activités génératrices des revenues	Mode de vie	Qualité du cadre de vie	Hygiène	Relations communautaires et échange culturelle	Habitation et autres bâtiments	Fonciers	Route	Tourisme	Emploi	Sécurité des populations
Installation de chantier									■													■				■	■				■	
Débroussaillage, Décapage et terrassement	■	■	■		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■										■	■
Implantation des ouvrages									■	■	■					■		■	■	■								■			■	
Remblaiement et/ou Déblaiement	■	■				■	■	■	■	■	■	■	■			■		■	■	■											■	
Amené et repli des matériaux de construction									■	■						■													■		■	■
Dépôts de matériaux secs (agrégats)						■																									■	■
Création et aménagement des voies					■							■	■			■					■	■	■	■	■		■	■	■	■	■	■
Construction des infrastructures de drainage et équipements divers					■							■	■			■					■	■	■	■	■		■	■	■	■	■	■
Utilisation de machinerie et engins lourds								■				■	■								■										■	■
Prise d'eau et approvisionnement en eau	■				■			■		■		■	■	■				■		■	■			■	■						■	■
Aménagements paysagers						■		■	■	■	■	■	■	■	■	■			■		■			■	■				■		■	■
Production des déchets solides (DIB)								■															■	■	■							■
Présence de la main d'œuvre								■				■	■								■	■			■	■					■	■

Tableau 21 : **Tableau 22 : Evaluation des interactions du projet pendant la phase d'exploitation**

Eléments de l'environnement / Activités sources d'impact	Eau					Sol			Faune et flore			Air		Climat et Paysage			Socio économie															
	Intégrité des plans d'eau et bas-	Ecoulement des cours d'eau	Qualité des eaux de surface	Qualité des eaux souterraines	Disponibilité de la ressource en eau	Forme du relief	Qualité des sols et du sous sol	Texture et structure du sol	Flore (végétation)	Faune et habitats	Espèces menacées ou protégées	Qualité de l'air et odeur	Climat sonore (bruits et vibrations)	Microclimat	Climat global	Paysage	Patrimoine naturel et culturel	Espace agricole	Espace forestière	Espace pastorale	Santé publique	Commerce et activités génératrices des revenues	Mode de vie	Qualité du cadre de vie	Hygiène	Relations communautaires et échange culturelle	Habitation et autres bâtiments	Fonciers	Route	Tourisme	Emploi	Sécurité des populations
Gestion des eaux usées	■		■	■			■		■	■	■	■				■		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■				■	■
Gestion des émissions atmosphériques (poussières)														■	■																	
Emissions sonores et vibrations														■	■																	
Gestion des rejets																■																■
Gestion des produits chimiques																					■											■
Gestion des déchets solides			■				■	■	■							■		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■				■	■
Prise d'eau et approvisionnement en eau			■	■	■							■		■		■		■	■	■	■		■	■	■							
Utilisation des voies de circulation internes et externes												■	■										■	■		■	■		■	■		■
Entretien du site			■	■	■		■		■	■	■	■		■		■		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			■	■	■
Emissions des gaz du combustion									■	■	■			■																		

5.7. ETUDE DE LA DISPERSION DE LA TACHE THERMIQUE EN MER

La modélisation hydrodynamique des milieux aquatiques est devenue, dès le développement des méthodes de résolution numérique, très importante et nécessaire pour comprendre, analyser, gérer, et prédire leur fonctionnement hydraulique de ces milieux, et ensuite prévoir le devenir d'une pollution quelconque rejetée.

en effet, la modélisation peut mettre à notre disposition, selon le degré de la complexité du problème et son objectif, des résultats qui peuvent nous aider à bien gérer ou bien aménage les écosystèmes aquatiques.

Ainsi, le but de cette partie est de simuler, par modélisation numérique, la dispersion de la tache thermique dans la zone côtière de Rades pour tester et proposer des solutions d'amélioration en vue de limiter les zones affectées par cette tache. Notons que cette tache thermique est causée par les rejets des eaux chaudes de refroidissement des centrales électriques de la STEG de Rades en mer.

5.7.1. caractéristiques du rejet d'eau chaude

Le centre de production d'électricité de la STEG à Rades fonctionne à circuit de refroidissement ouvert. En effet, les centrale de Rades pompent ses eaux de refroidissement de la mer à partir du port d'aspiration et les rejettent dans la mer à une température légèrement plus élevée.

L'extension prévue, l'étape C de Rades, sera branché au même système de refroidissement, ceci permettra à la STEG d'exploiter les ouvrages de Génie Civil existants.

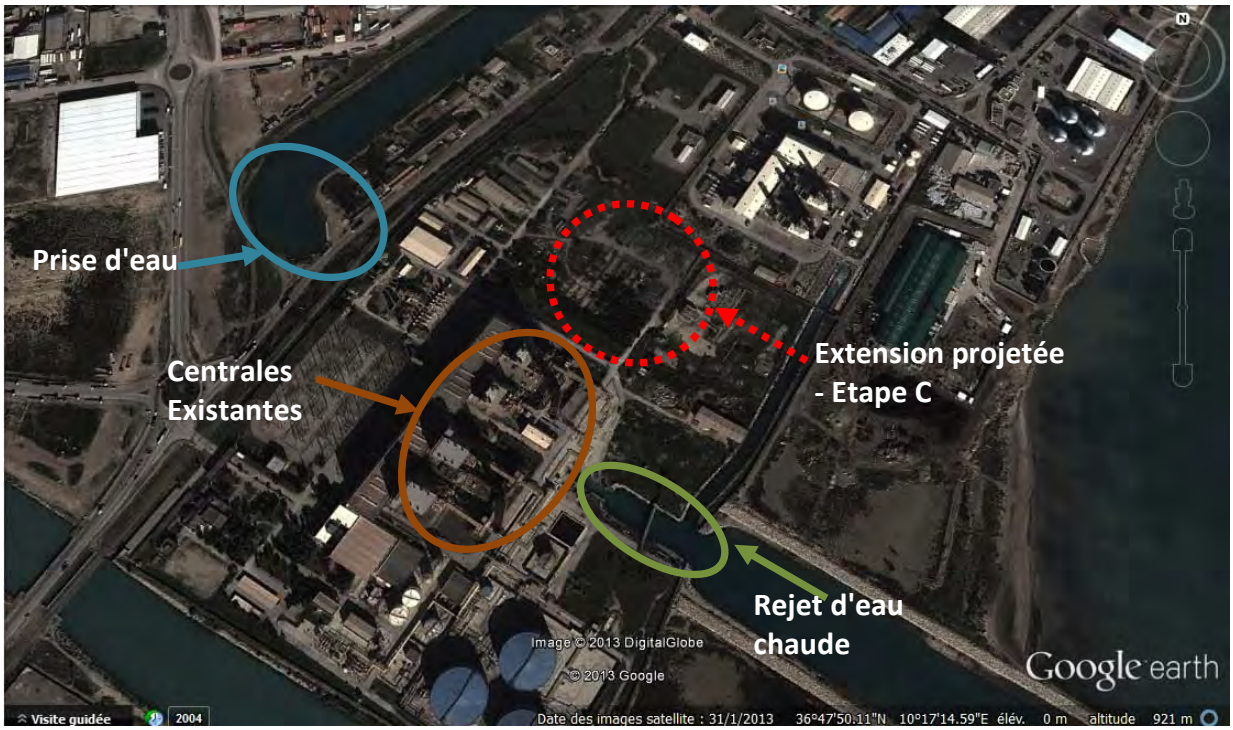


Figure 49: Localisation des centrales, du port d'aspiration et canal de rejet

5.7.2. Calage et résultats du modèle de simulation

5.7.2.1. Introduction

La modélisation hydrodynamique des milieux aquatiques est devenue, dès le développement des méthodes de résolution numérique et des ordinateurs, très importante et nécessaire pour comprendre, analyser, gérer, et prédire leur fonctionnement hydraulique de ces milieux, et ensuite prévoir le devenir d'une pollution quelconque rejetée. En effet, la modélisation peut mettre à notre disposition, selon le degré de la complexité du problème et son objectif, des résultats qui peuvent nous aider à bien gérer ou bien aménager les écosystèmes aquatiques.

Ainsi, le but de cette partie est de simuler, par modélisation numérique, le fonctionnement hydrodynamique du golfe de Tunis pour simuler ensuite la dispersion des eaux chaudes qui seront rejetées par les centrales électriques de Radès (centrales de la STEG et de CPC), incluant l'étape C prévue par la STEG.

Pour atteindre cet objectif, nous allons utiliser un logiciel bidimensionnel : « Surface-water Modeling System » (ou SMS) qui est un modèle à 2 dimensions, intégré sur la hauteur d'eau et bien adapté aux zones côtières peu profondes et non stratifiées. Ce logiciel permet de simuler le fonctionnement hydrodynamique de la zone côtière pour ensuite le coupler à la dispersion de la tache thermique en mer.

Le centre de production d'électricité de Radès fonctionne à circuit de refroidissement ouvert. En effet, ces centrales pompent les eaux de refroidissement à partir du Canal de Navigation et les rejettent dans la baie de Tunis, entre le port de La Goulette au Nord et le canal du lac sud de Tunis, au Sud.

Le canal de rejet, dont la largeur est d'environ 70 mètres et la profondeur est de l'ordre de 2,5 m, se termine par deux digues permettant d'éloigner les eaux chaudes vers le large : Une digue au nord dont la longueur est de 500 m ; Une digue au Sud, moins longue, de 320 m de long .

Les débits des eaux de refroidissement des différentes centrales électriques de Radès ainsi que les échauffements des eaux rejetées sont résumés dans le tableau ci-dessous. D'après ce tableau, nous remarquons que l'échauffement actuel des eaux de refroidissement de ces centrales est de ΔT=+5°C par rapport à la température d'entrée.

Après la réalisation de l'Etape C de la STEG à Radès, le débit total des eaux rejetées dans la baie de Tunis atteindra 67,8 m3/s et ce avec un échauffement moyen d'environ ΔT=+5°C (Tableau ci-dessous).

Tableau 23: Caractéristiques des rejets d'eaux chaudes à Radès

	Radès A et B	Radès II (CPC)	Radès C prévue	Total
Débit Maximal de rejet	**120 000 m^3/h**	**88 000 m^3/h**	36 000 m^3/h	244 000 m^3/h
	33,3 m^3/s	**24,5 m^3/s**	10 m^3/s	67,8 m^3/s
Echauffement ΔT	**+5 °C**	**+5 °C**	+5 °C	+5 **°C**

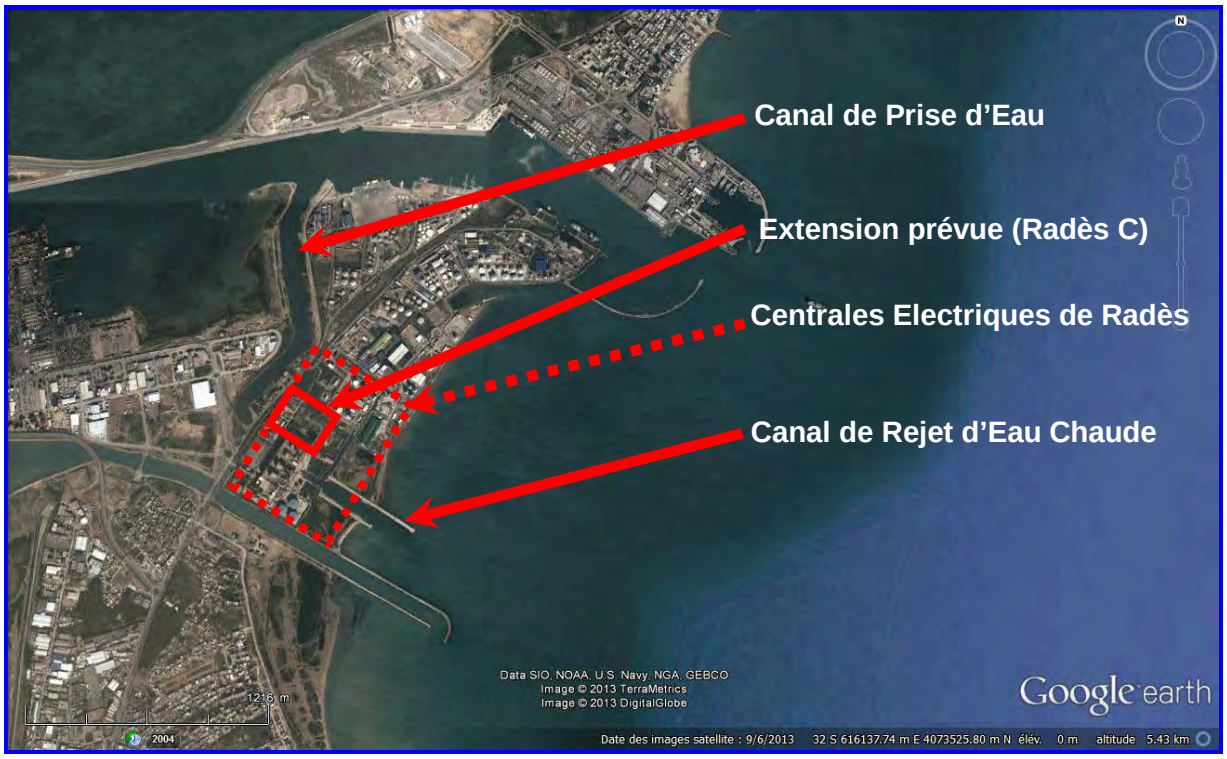


Figure 50 : Localisation des centrales électriques de Radès.

Le rejet des eaux chaudes par les centrales électriques de la Radès, même après les extensions prévues, respectent parfaitement les normes Tunisiennes (NT 106-02) de rejet en milieu marin puisque la température de ces eaux rejetées ne dépassera pas dans tous les cas les 35°C.

Néanmoins, dans ce qui suit, nous allons simuler et prédire la dispersion de la tache thermique dans le milieu marin. Les objectifs de ces simulations sont :

(1) Quantifier l'étendue de cette tache thermique en mer ;

(2) Evaluer le risque de retour des eaux chaudes vers le canal de captage des eaux de refroidissement des centrales (le port de La Goulette et le canal de navigation) ;

(3) Examiner le risque d'intrusion des eaux chaudes dans le Lac Sud de Tunis.

Pour bien simuler la dispersion de la tache thermique, nous allons considérer tout le golfe de Tunis, et ce pour atteindre des zones qui ne risquent pas d'être affectées par ces eaux chaudes.

Ces simulations sont réalisées à l'aide du logiciel SMS (Surface-water Modeling System), qui est un code à 2 dimensions, intégré sur la hauteur d'eau, et bien adapté aux zones côtières peu profondes et non stratifiées.

Dans ce qui suit, nous présentons la démarche suivie, lors de l'utilisation du logiciel SMS, qui nous permettra d'obtenir des résultats de simulation du Golfe de Tunis les plus proches possibles de la réalité.

5.7.2.2. Construction du modèle : Bathymétrie et maillage du golfe de Tunis

Dans cette étape, nous avons introduit la géométrie du milieu à l'échelle réelle et la bathymétrie de la zone, pour réaliser ensuite le maillage ou la discrétisation du domaine d'étude en éléments. Il s'agit de la partition du milieu du golfe de Tunis en éléments (triangulaires ou rectangulaires). Pour le besoin des simulations, et afin de réduire l'impact des conditions aux limites imposées aux frontières du domaine, nous avons donc choisi de simuler tout le golfe de Tunis.

L'objectif de ce choix d'un domaine très étendu est d'atteindre des limites dont on soit sûr qu'elles ne sont pas du tout affectées par le rejet des centrales électriques (ni d'un point de vue hydrodynamique, ni d'un point de vue température). Le Golfe de Tunis a été alors délimité au large par la ligne joignant Cap Farina à Ras Regbi, soit une superficie totale d'environ 1900 km2.

A l'aide du module GFGEN, de SMS, nous avons donc introduit les limites de la zone simulée ainsi que la bathymétrie disponible. La figure 49 montre la carte du golfe de Tunis sur laquelle nous avons superposé les points de levés bathymétriques. La carte bathymétrique du domaine simulé, ainsi introduite au logiciel, est présentée sur les figures 50. La côte du fond du golfe atteint, au large, – 120 mNGT.

Nous avons ensuite réalisé le maillage du golfe (nous avons choisi la discrétisation en éléments triangulaires, quadratiques, à 6 nœuds). Le domaine a été ainsi discrétisé en 7568 éléments triangulaires à l'aide de 15847 nœuds de calcul. Le maillage ainsi obtenu est représenté sur les figures 52. Ce maillage a été volontairement affiné dans la zone de rejet des centrales de Radès, et ce pour que la résolution numérique des caractéristiques hydrodynamiques et thermiques soit relativement précise dans cette zone affectée par la tache thermique (Figures 51).

Les figures 51 à 53 montrent en particulier que la géométrie du golfe, introduite au logiciel SMS, est bien conforme à la géométrie réelle (conformément à l'image de GoogleEarth).

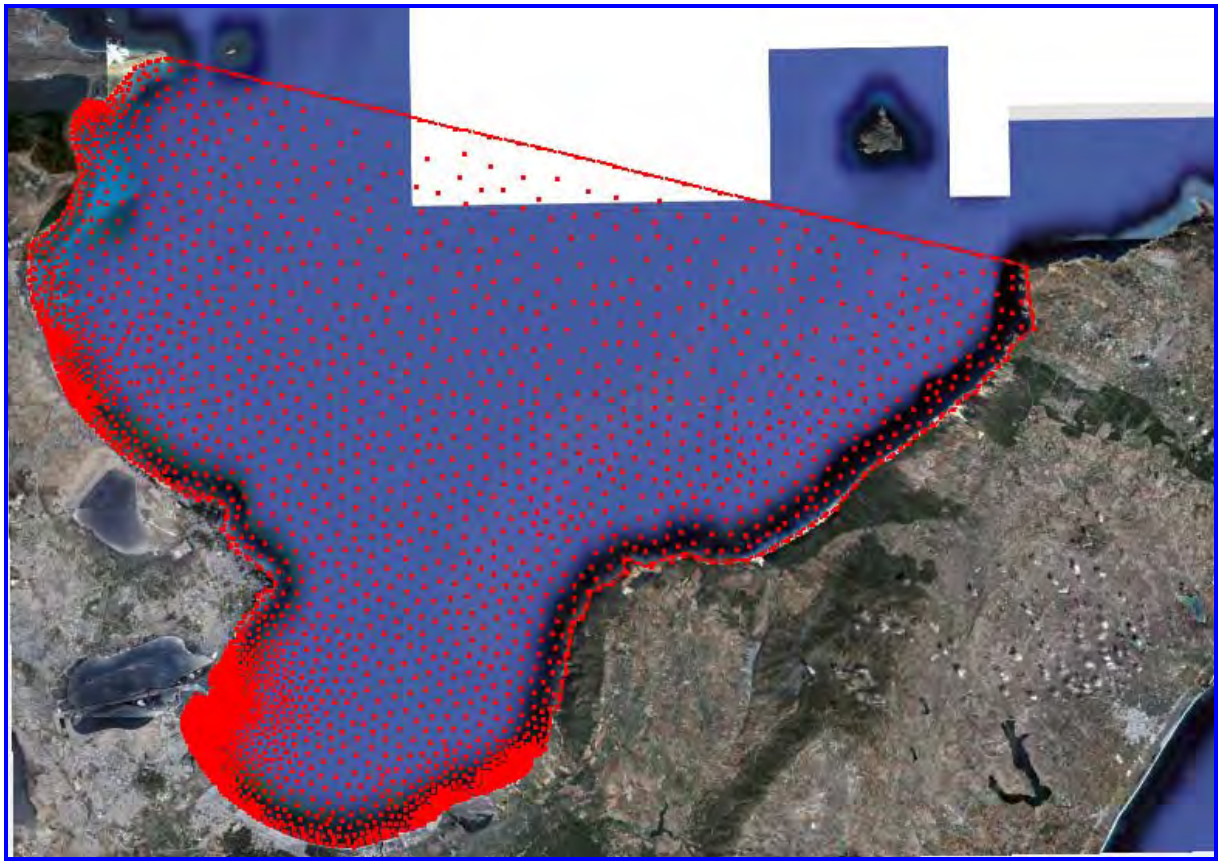


Figure 51 : Superposition des points bathymétriques sur la carte du golfe de Tunis

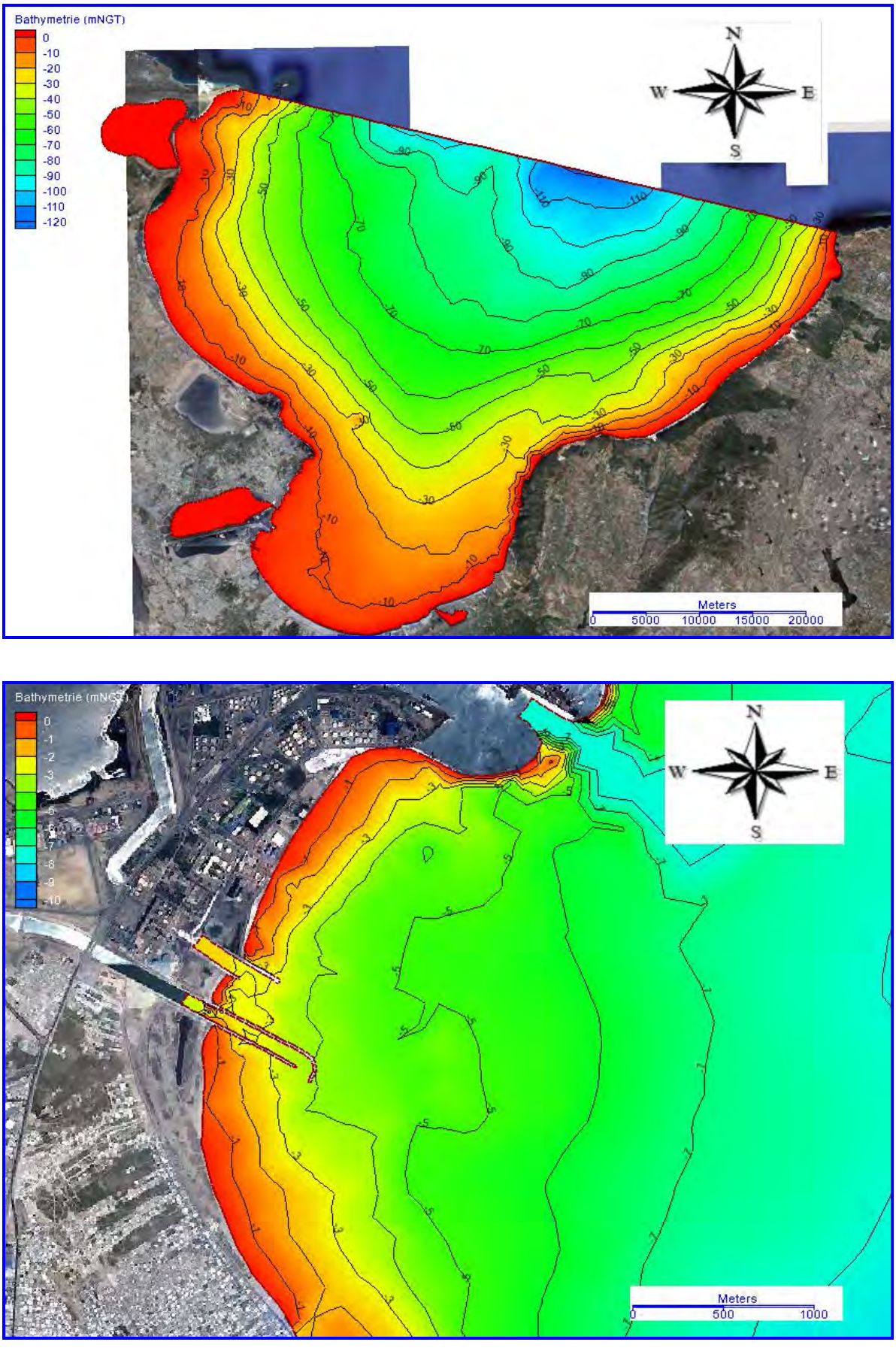


Figure 52 : Bathymétrie du golfe de Tunis et de la zone de rejet

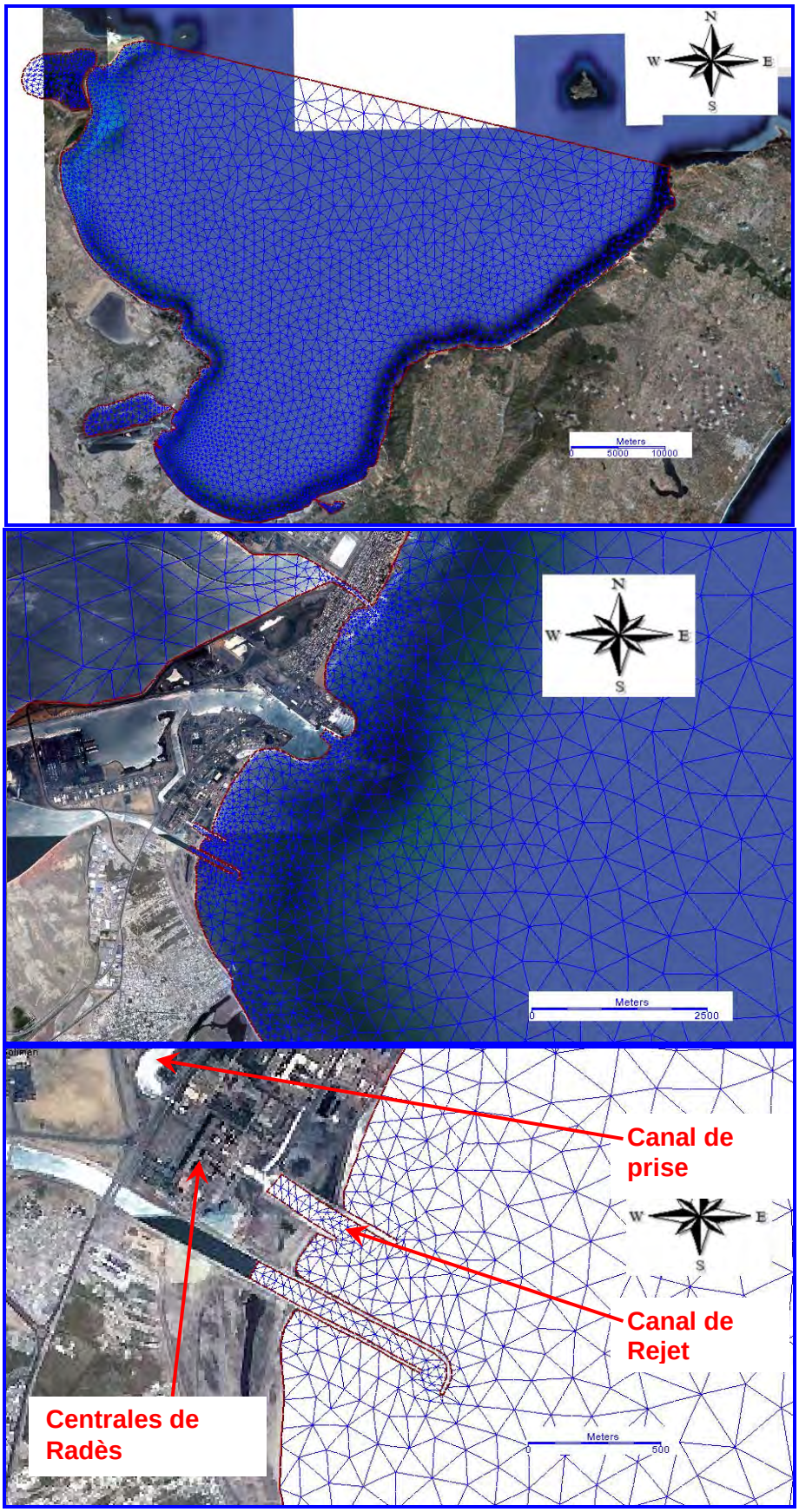


Figure 53: Maillage adopté du golfe de Tunis et de la zone de rejet

5.7.3. Simulation de l'hydrodynamique du golfe de Tunis

5.7.3.1. Données du modèle

Après l'introduction de la géométrie et la réalisation du maillage du golfe de Tunis, nous avons réalisé les simulations de son fonctionnement hydrodynamique à l'aide du module RMA2 du logiciel SMS. Dans le paragraphe qui suit, nous allons énumérer en détails les données introduites au modèle pour réaliser cette tâche.

5.7.3.2. Conditions initiales

Comme conditions initiales, nous avons supposé que :

- ✓ Le plan d'eau est initialement au repos ;
- ✓ Les vitesses initiales sont nulles dans tout le domaine ;
- ✓ La surface de l'eau est supposée initialement horizontale.

Notons que ces conditions initiales seront très vite oubliées par le modèle dès le démarrage de la simulation.

5.7.3.3. Conditions aux limites

Le modèle hydrodynamique du Golfe de Tunis nécessite deux types de conditions aux limites:

- ✓ Débit imposés, au niveau des rejets par les canaux ainsi qu'au niveau des communications avec quelques lagunes côtières (lac Sud de Tunis) ;
- ✓ Niveau d'eau imposé au large (marée imposée aux frontières du golfe avec le large).

En ce qui concerne les conditions du premier type, les débits imposés (débits constants) sont ceux rejetés par les centrales électriques de Radès et échangés avec le lac sud de Tunis et le canal de Navigation.

Quand aux conditions de second type, c'est-à-dire les conditions qui concernent le niveau de la surface de l'eau imposé aux frontières libres du golfe (au large) qui n'est autre que la marée moyenne, nous avons utilisé les caractéristiques indiquées dans le tableau ci-dessous. Il s'agit des principaux modes de la marée, déterminées par l'INSTM (2002) suite à des mesures réalisées à Bizerte.

Principales composantes de la marée à Bizerte (INSTM, 2002)

	Composantes	Période (T), en h	Amplitude (A), en m	Phase (°)
1	**M2**	12.42	0.083	276.49
2	**S2**	12.00	0.042	298.27
3	**K1**	23.92	0.029	189.84
4	**O1**	25.83	0.019	134.86

Dans ce tableau, M2, S2, K1 et O1 représentent les quatre principaux modes de la marée :

- ✓ **M2 :** La marée générée par la « Lune moyenne » (c'est le mode dominant). Elle présente deux pleines mers et deux basses mers par jour lunaire (période 12h24min).
- ✓ **S2 :** La marée due au « Soleil moyen ». Elle présente deux pleines mers et deux basses mers par jour solaire (période 12 h).
- ✓ **K1 :** Cette marée a pour origine les variations de déclinaison de la Lune et du Soleil. Elle est marquée par une pleine mer et une basse mer par jour sidéral (période 23h56min).
- ✓ **O1 :** C'est la marée induite par les variations de déclinaison de la Lune. Elle présente une pleine mer et une basse mer par jour lunaire (période 23h52min).

La variation de la surface de l'eau due à la marée Z(t) est alors calculée par l'expression suivante :

$$Z(t) = Z_0 + \sum_{i=1}^{4} A_i \cos\left(2\pi \frac{t}{T_i} + \frac{\varphi_i}{360}\right) \quad (1)$$

Dans laquelle Z0 est le niveau moyen, Ai, Ti et φi sont l'amplitude, la période et la phase, respectivement, du mode (i) de la marée (i=1 à 4, telle que c'est indiquée dans le tableau ci-dessus) et t en heure. Il est à noter que le niveau moyen de la surface de la mer est à Z0=+ 0,14 mNGT.

La courbe de variation du niveau d'eau, ainsi obtenue pour une durée de 14 jours, est représentée sur la figure 54.

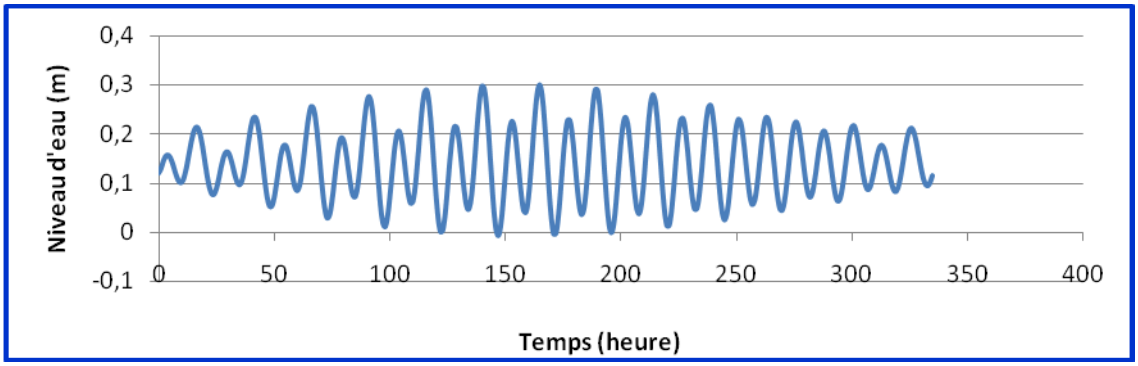


Figure 54: Marée moyenne imposée à la limite du large du golfe de Tunis, durant 14 jours

5.7.3.4. Paramètres du modèle

Les principaux paramètres nécessaires pour la résolution numériques des équations du modèle hydrodynamique sont : les coefficients de dispersion et le coefficient de Manning qui caractérise la rugosité du fond. Normalement, ces paramètres doivent être déterminés par

calage du modèle en se basant sur des mesures de terrain. Faute de ces données de terrain, nous avons choisi des valeurs tirées de la bibliographie.

D'autre part, pour le calcul en mode dynamique (non stationnaire), le logiciel SMS nécessite la définition de quelques paramètres de calcul, à savoir le pas de temps, la précision du calcul itératif, le nombre maximal d'itérations à chaque pas de temps et la durée totale de la simulation.

Les valeurs que nous avons adoptées sont les suivantes :

- ✓ Temps de chaque simulation : 336 heures (soit 14 jours) ;
- ✓ Pas de temps : $\Delta t = 0,25$ heure
- ✓ Précision du calcul itératif sur la hauteur d'eau : $\varepsilon = 0,0005$ m
- ✓ Nombre maximal d'itérations à chaque pas de temps : NMAX = 10

5.7.4. Résultats des simulations de l'hydrodynamique du golfe

Dans cette partie, et en utilisant le maillage présenté sur les figures 52, nous avons essayé de simuler l'hydrodynamique du Golfe de Tunis dans différents conditions de vent (ou scénarios) :

- ✓ **Scénario 1 :** Effet de la marée seule, Sans Vent ;
- ✓ **Scénario 2 :** Effet de la marée avec un Vent Est d'intensité 6 m/s ;
- ✓ **Scénario 3** : Effet de la marée avec un Vent Ouest d'intensité 9 m/s.

5.7.4.1. Résultats du Scénario 1 : Effet de la marée sans vent

Comme premier scénario, nous avons tenu compte de la déviation due à l'accélération de Coriolis (la latitude est considérée égale à 38°) qui est liée à la rotation de la Terre ainsi que de l'effet de la marée. Dans ce scénario, l'effet du vent a été alors ignoré.

Ce scénario correspond à un temps calme où l'unique générateur de la circulation est la propagation de l'onde de la marée.

Les champs des vitesses calculées dans tout le golfe de Tunis, dans le cas du scénario 1, pour une marée ascendante puis pour une marée descendante sont illustrés sur les figures 55 et 56 respectivement. La figure 57 présente les vitesses calculées dans la zone de rejet des centrales de Radès.

En analysant ces figures, nous pouvons constater que les courants sont presque négligeables dans la quasi-totalité du golfe sauf au niveau du canal de navigation, de la communication avec

lagunes (lagunes de Ghar El Melh et de Soliman, les lacs nord et sud de Tunis) et du rejet des centrales électriques de Radès.

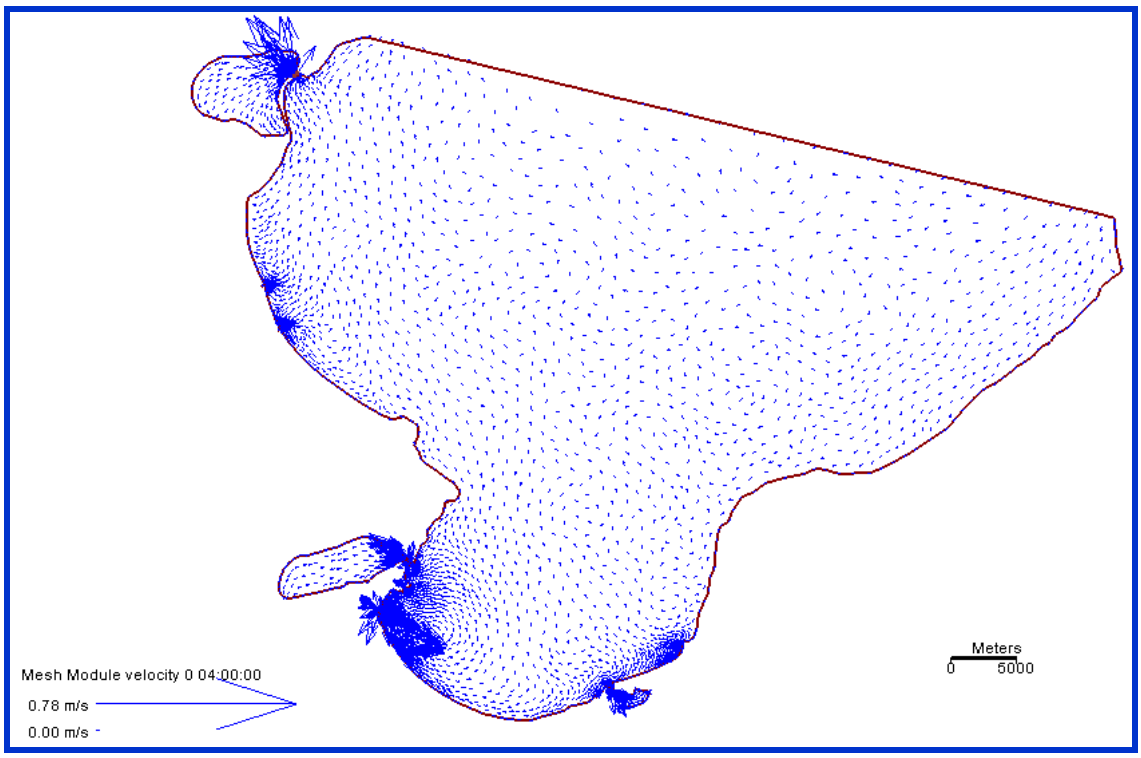


Figure 55 : Vitesses calculées dans le golfe de Tunis (Marée Ascendante) – Cas Sans Vent

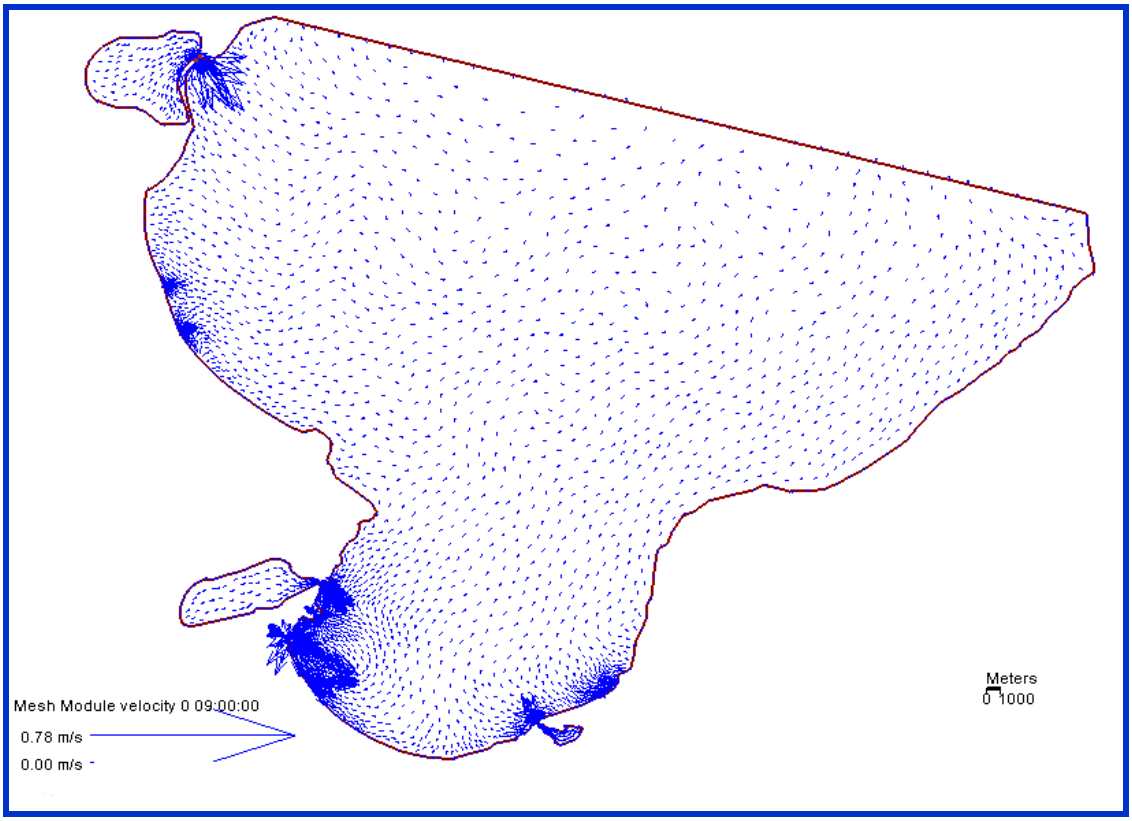


Figure 56 : Vitesses calculées dans le golfe de Tunis (Marée Descendante) – Cas Sans Vent

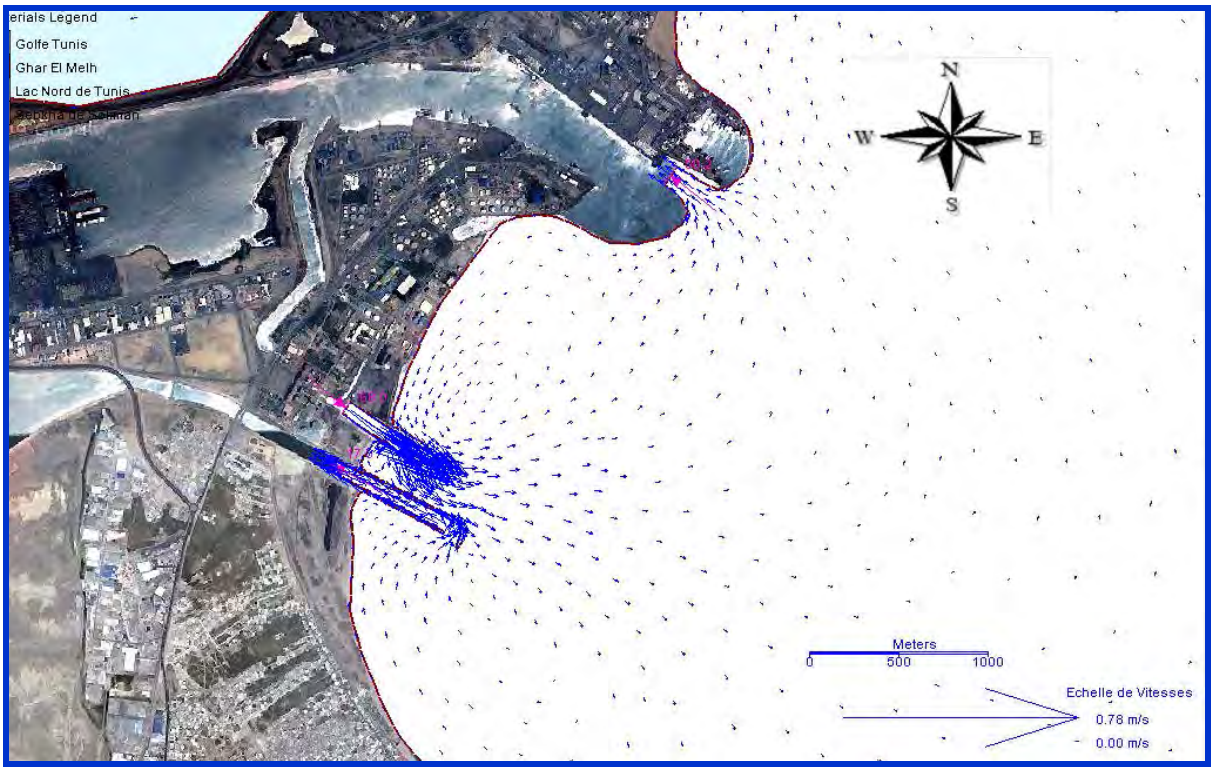


Figure 57 : Vitesses calculées dans la zone de rejet des centrales de Radès – Cas Sans Vent

5.7.4.2. Résultats du Scénario 2 : Effet de la marée avec un vent Est de 6 m/s

Le second scénario consiste à simuler l'effet d'un vent du secteur Est avec une intensité de 6 m/s. C'est le vent dominant pendant la période estivale.

Contrairement au premier scénario, la marée dans ce cas ne représente plus le facteur principal agissant sur la répartition des vitesses au niveau du golfe car c'est le vent qui prend la relève. En effet, le vent génère un écoulement tourbillonnaire : Dans le sens des aiguilles d'une montre à l'Ouest du golfe et dans la baie de Tunis, et dans le sens anti-horaire au centre et à l'Est du golfe. Ce phénomène est nettement observé au niveau des côtes Ouest du golfe ainsi que dans la zone de la baie de Tunis (figures 58 et 59).

Il est à mentionner que cette structure des courants garde ce sens pour une marée ascendante ainsi que pour une marée descendante (respectivement sur les figures 58 et 59).

En face de la zone des centrales électriques de Radès (Figure 60), le vent d'Est génère une circulation giratoire dans le sens anti-horaire qui se caractérise par des courants orientés vers le Sud entre le canal de navigation et le canal du lac Sud de Tunis avant de s'orienter vers le large. Ces courants devraient favoriser la dispersion des eaux chaudes vers le large.

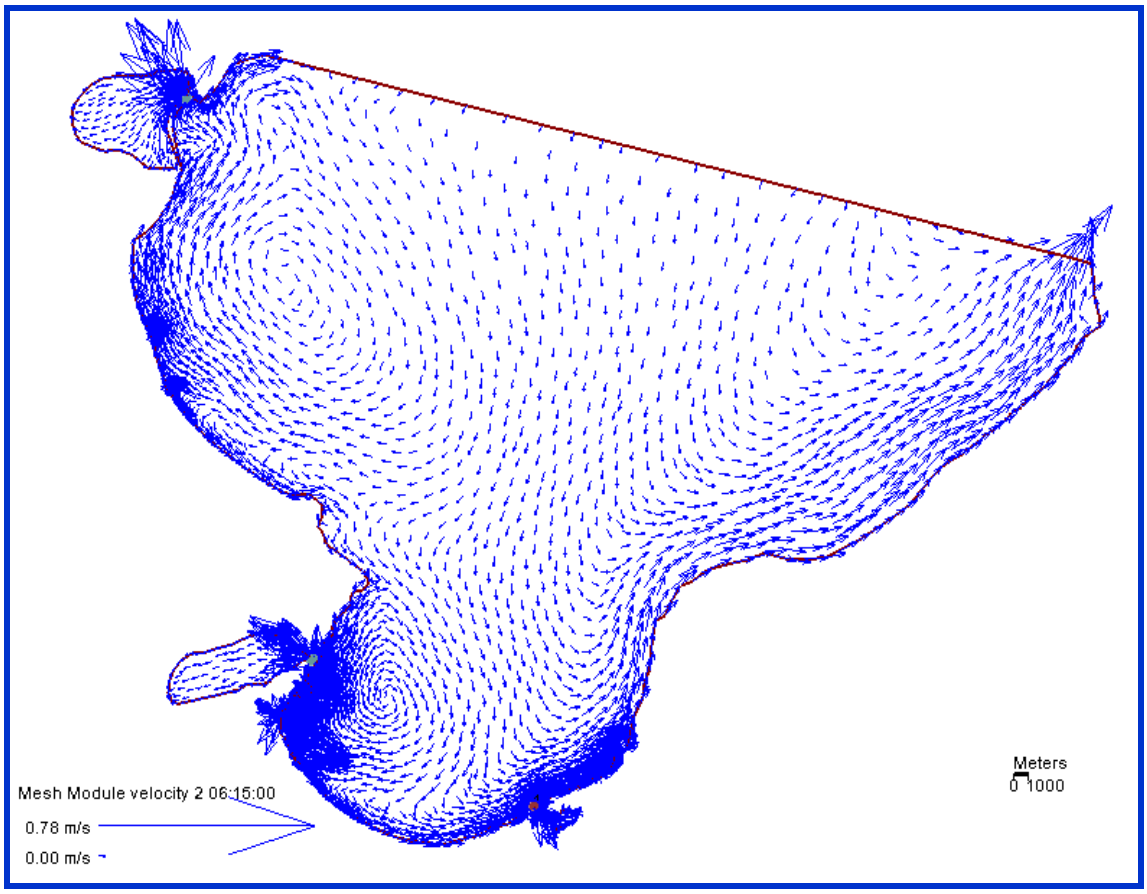


Figure 58 : Vitesses calculées dans le golfe de Tunis (Marée Ascendante) – Vent d'Est

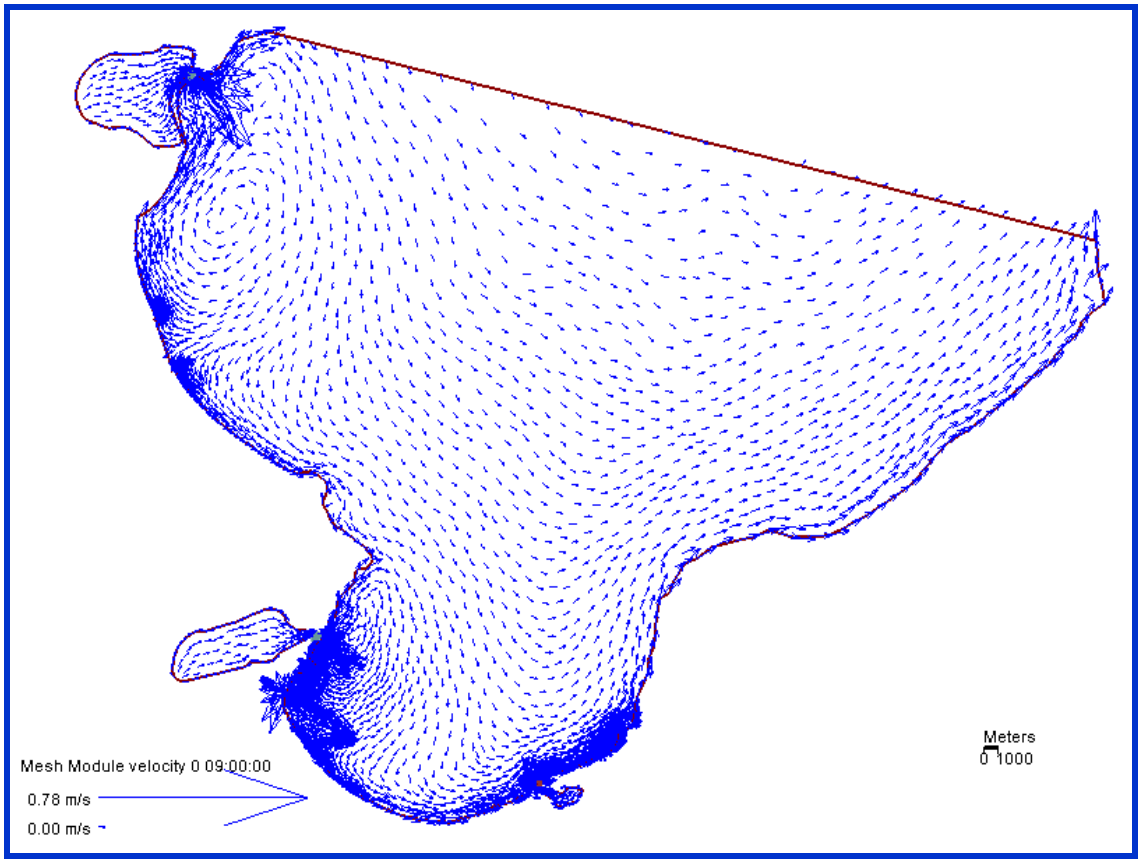


Figure 59: Vitesses calculées dans le golfe de Tunis (Marée Descendante) – Vent d'Est

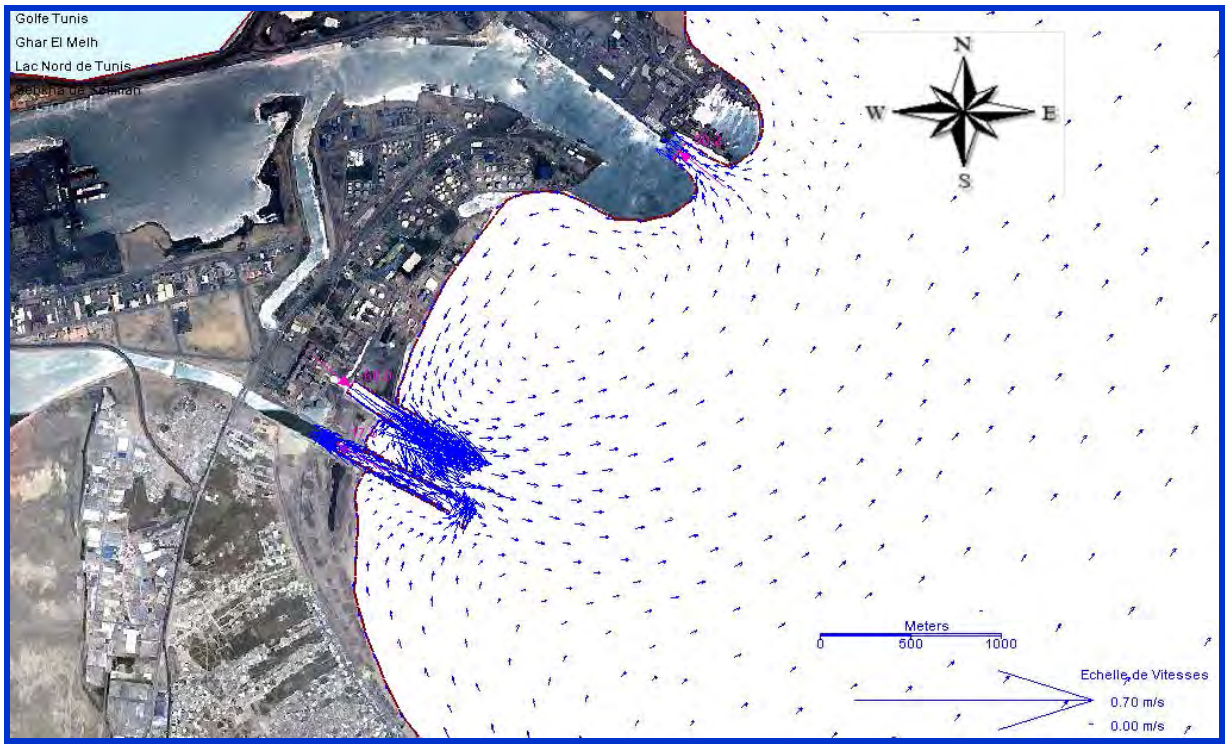


Figure 60: Vitesses calculées dans la zone de rejet des centrales de Radès – Vent d'Est

5.7.4.3. Résultats du Scénario 3 : Effet de la marée avec un vent Ouest de 9 m/s

Ce scénario représente le cas le plus fréquent au Nord de la dorsale et plus précisément au niveau de notre zone d'étude « le golfe de Tunis ». Il s'agit d'un vent qui souffle du secteur Ouest avec une intensité relativement importante, soit de 9 m/s.

Comme dans le cas du scénario précédent, les courants gardent le même sens que se soit en marée ascendante ou en marée descendante, ce qui le montrent respectivement les figures 61 et 62.

Cependant, le vent Ouest génère des courants qui circulent parallèlement aux rivages tout en suivant la géométrie du golfe. Au centre du golfe, l'écoulement est giratoire dans le sens contraire que celui des aiguilles d'une montre, alors qu'au niveau des côtes Est, c'est le sens inverse qui est observé (figures 61 et 62).

En face de la zone de rejet des centrales électriques de Radès (Figure 63), les vitesses à la sortie du canal de rejet sont déviées par le vent Ouest vers le nord, entre le canal de navigation et le canal du lac Sud de Tunis. Ces courants devraient favoriser le retour des eaux chaudes vers le canal de navigation.

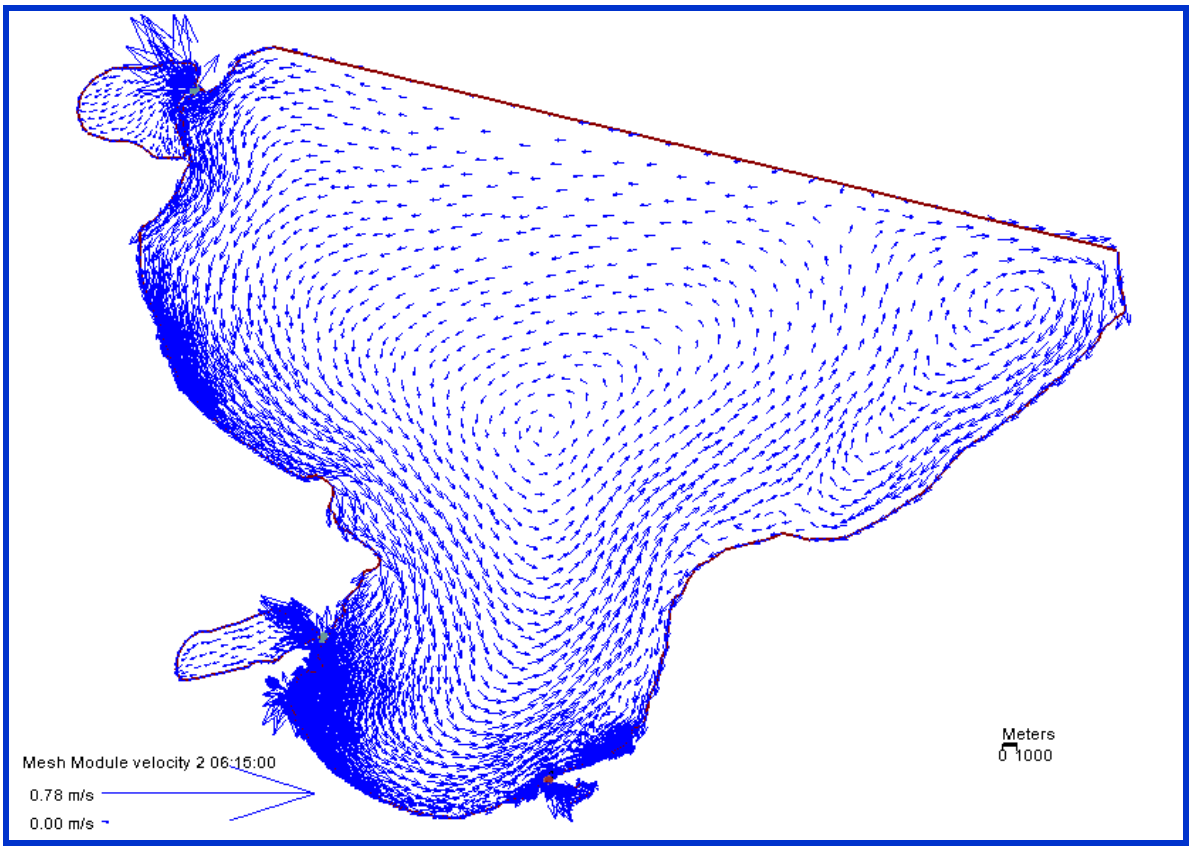


Figure 61: Vitesses calculées dans le golfe de Tunis (Marée Ascendante) – Vent d'Ouest

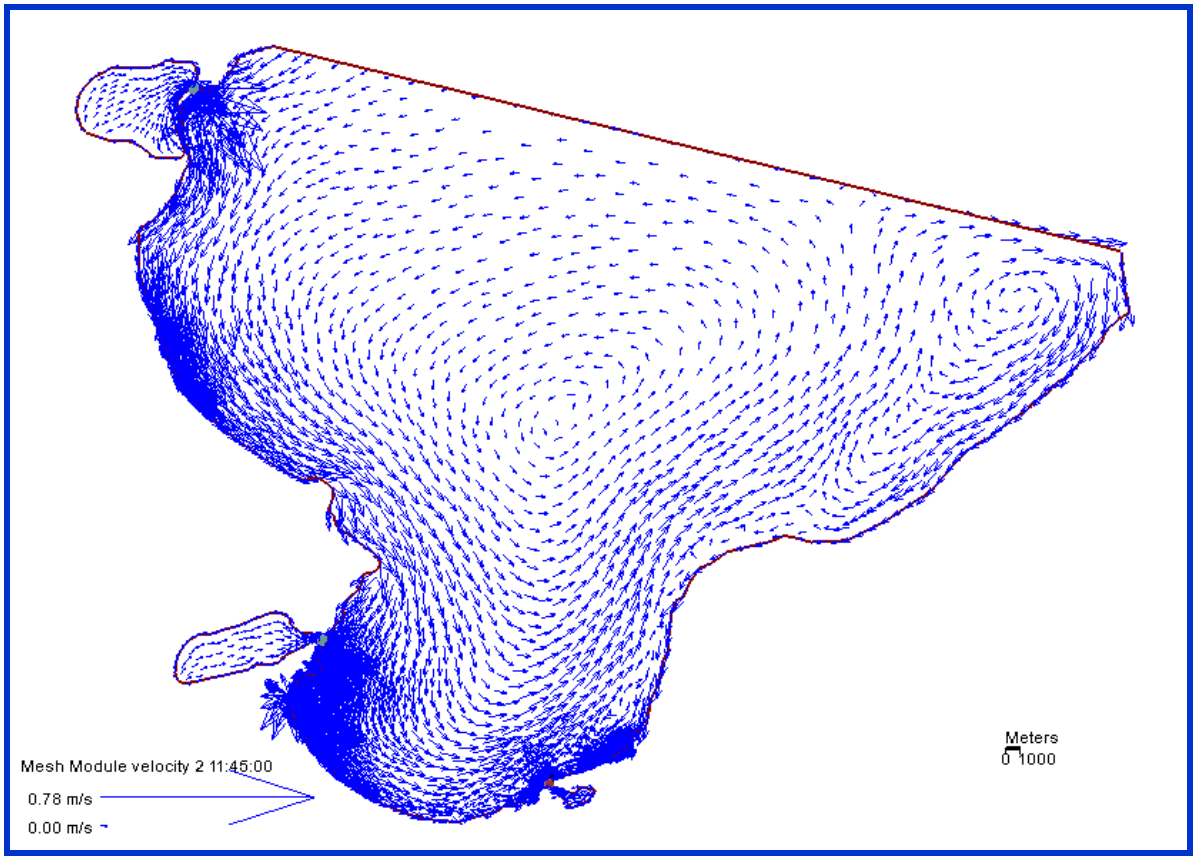


Figure 62: Vitesses calculées dans le golfe de Tunis (Marée Descendante) – Vent d'Ouest

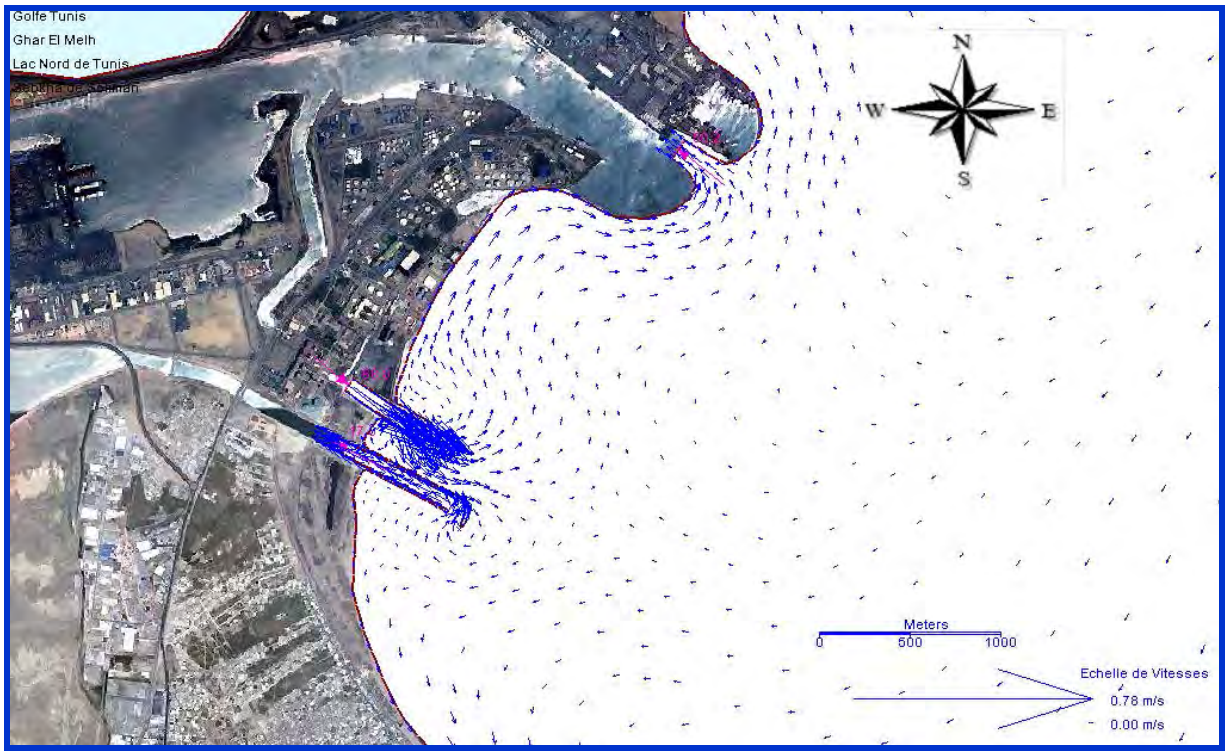


Figure 63: Vitesses calculées dans la zone de rejet des centrales de Radès – Vent d'Ouest

5.7.5. Conclusions sur l'hydrodynamique du golfe

A l'aide du logiciel SMS, qui est un modèle à 2D, nous avons donc simulé l'hydrodynamique du golfe de Tunis dans des situations climatiques les plus fréquentes dans la zone d'étude. Nous avons alors pu décrire la structure des courants dans le golfe de Tunis dans les conditions les plus probables.

Ces simulations montrent en particulier que le vent, s'il existe bien évidemment, représente le principal générateur des courants dans le golfe de Tunis. Autrement dit, il existe une interdépendance entre l'intensité et la direction du vent et la circulation des eaux dans la zone d'étude.

Si ce facteur climatique est absent, c'est la marée qui prend la relève, mais les courants au niveau des côtes restent faibles dans ce cas.

Les courants calculés en face du site des centrales électriques de Radès, et qui dépendent du vent, contrôlent la dispersion des eaux chaudes rejetées en mer.

5.7.6. Simulation de la dispersion de la tache thermique dans le golfe

Simulations de l'état actuel (débit 57,8 m3/s)

5.7.6.1. Résultats du calage du modèle thermique :

Une fois l'étape de la simulation du fonctionnement hydrodynamique est franchie, les résultats sont alors utilisés pour simuler la dispersion de la tache thermique en mer.

Dans une première étape, nous avons tenté de caler le modèle de simulation numérique de la dispersion de la tache thermique dans la zone côtière située en face du canal de rejet des centrales de Radès.

Il s'agit alors de tenter de retrouver l'ordre de grandeur des températures mesurées dans cette zone le 27 septembre 2013, en ajustant les paramètres du modèle de dispersion de la tache thermique. Le paramètre le plus important est celui relatif au taux de refroidissement des eaux par échange de chaleur avec l'air.

Notons que le débit actuel de rejet de toutes centrales électriques de Radès est de 57,8 m3/s (soit 208 000 m3/heure) d'eau chauffée à environ +5°C par rapport à la température des eaux d'entrée. Dans la modélisation, nous allons simuler la dispersion de ce gradient thermique (soit la tache thermique ou l'échauffement des eaux) par rapport à la température initiale de l'eau de mer. Lors de chaque simulation, couplée au fonctionnement hydrodynamique avec le débit rejeté et le vent de la journée du 27 septembre 2013, nous avons cherché une solution permanente de l'évolution de la température et, pour cela, nous avons simulé l'évolution durant 14 jours.

Suite à plusieurs tests, le meilleur résultat obtenu est celui présenté sur les figures 64, 65 et 66. Sur ces figures, nous présentons les résultats des simulations sous forme de courbes d'iso-échauffement des eaux dans le milieu récepteur : Il s'agit alors de l'évolution de la tache thermique après 12 heures, 1 jour et 14 jours de rejet, respectivement.

La figure 66 montre que le modèle reproduit globalement les mesures réalisées dans le cadre de cette étude le 27 septembre 2013, avec tout de même une très légère sous estimation de l'échauffement par le modèle par rapport aux mesures, ceci est certainement dû à la présence d'une légère stratification thermique des eaux dans la zone du rejet du canal (voir les mesures de température).

Ces figures montrent en particulier que, compte tenu de la dominance du courant marin vers le Sud, du au vent soufflant du secteur Est le jour des mesures et de la présence de la digue du canal du lac Sud de Tunis, les eaux chaudes ont tendance à s'orienter vers le large en s'éloignant des côtes.

D'autre part, les résultats des figures 64 à 66 confirment aussi que les eaux chaudes rejetées par les centrales électriques de Radès ne reviennent pas au canal de captage des eaux de refroidissement (le canal de navigation) et ne pénètrent pas dans le lac Sud de Tunis.

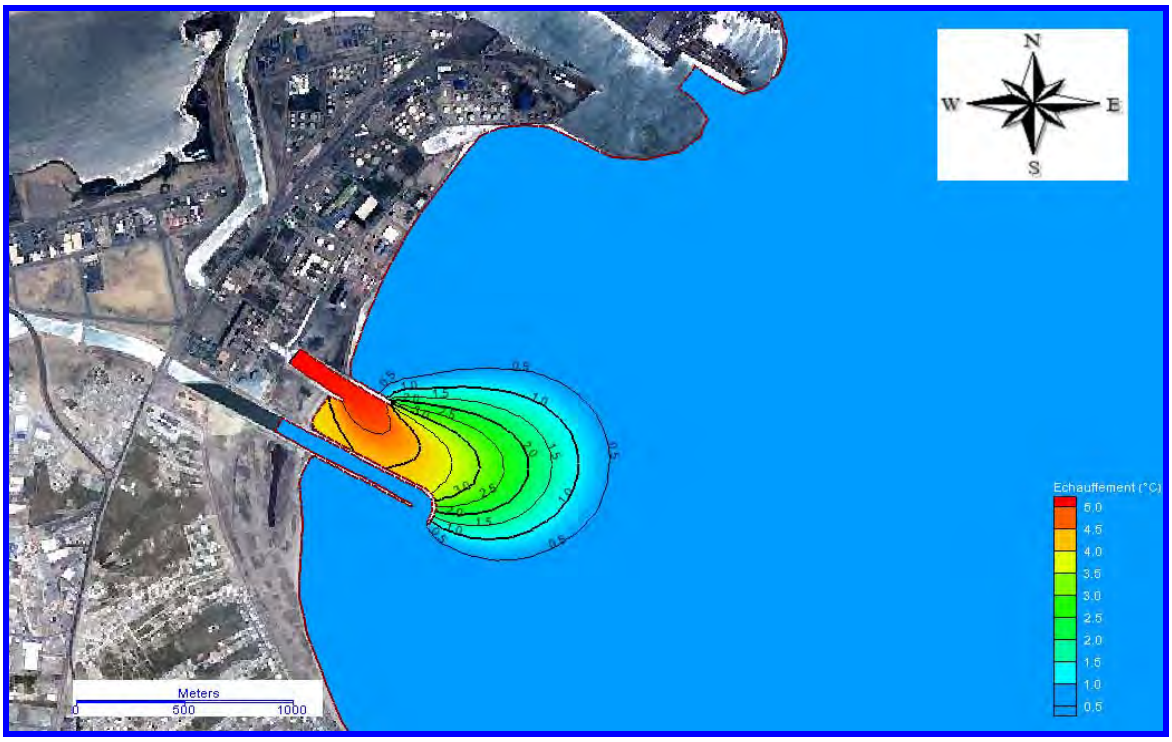


Figure 64: Courbes d'iso échauffement en mer - Résultats du calage du modèle du 27/9/2013, après 12 heures de rejet

.

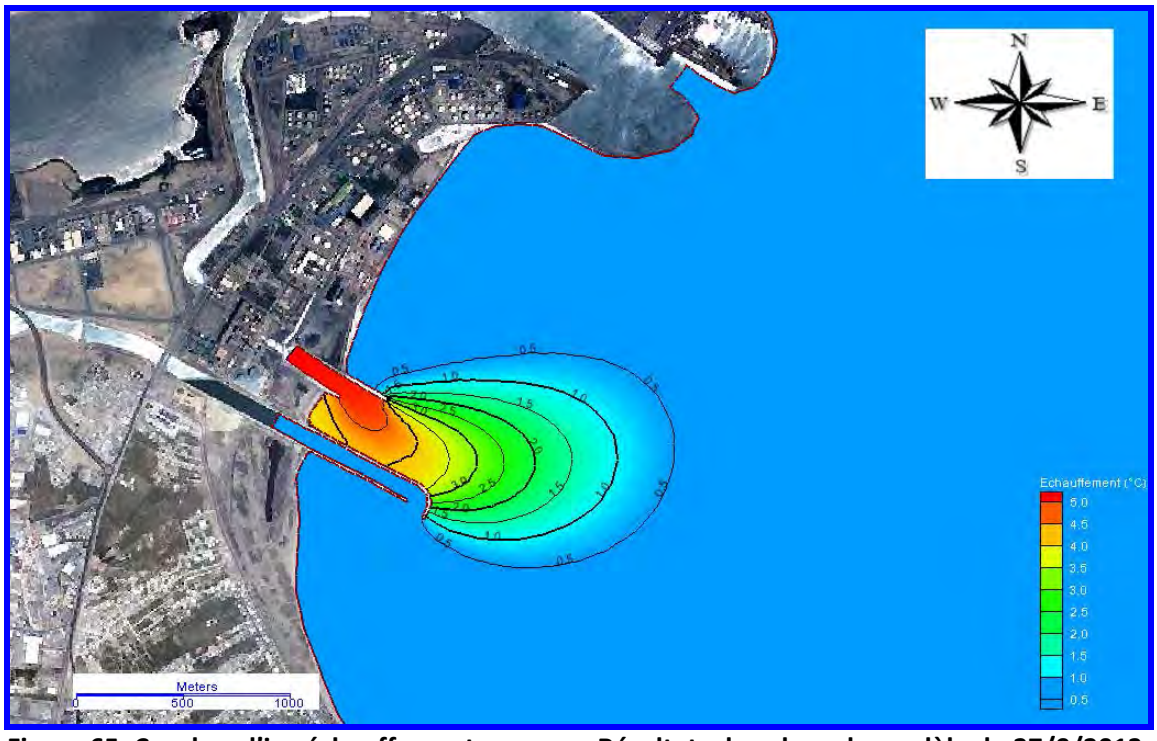


Figure 65: Courbes d'iso échauffement en mer - Résultats du calage du modèle du 27/9/2013, après 1 jour de rejet.

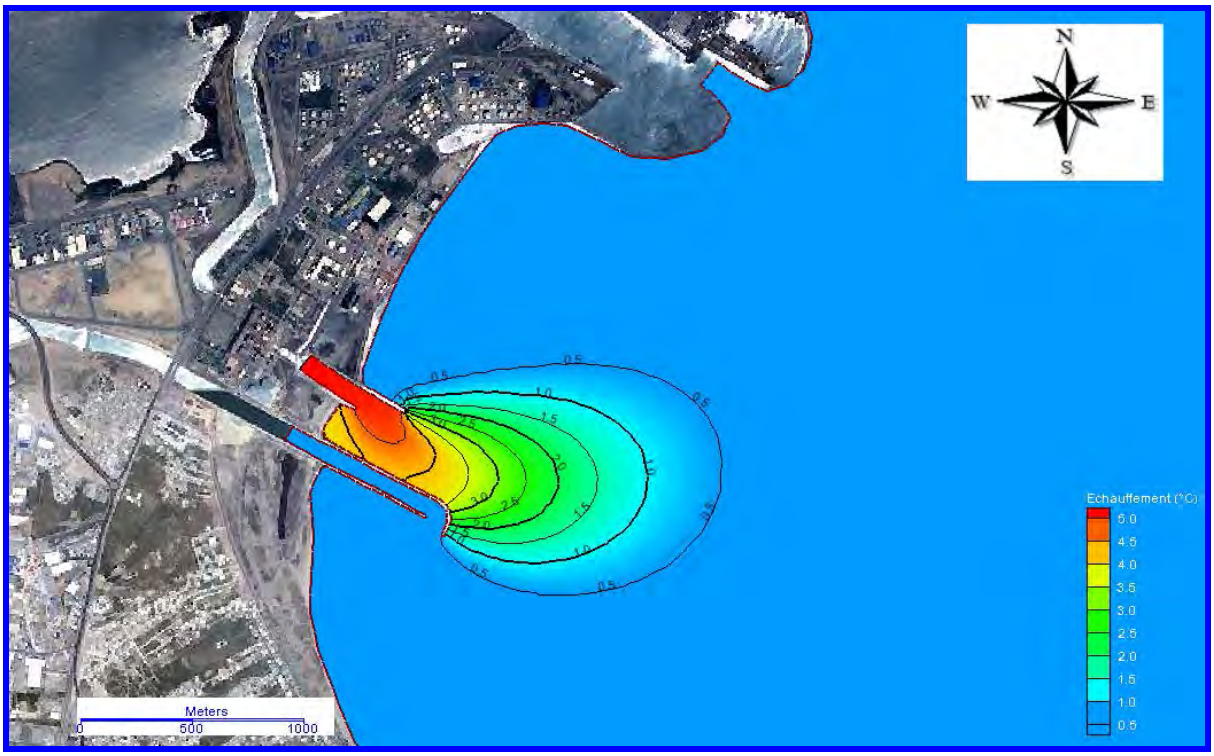


Figure 66: Courbes d'iso échauffement en mer - Résultats du calage du modèle du 27/9/2013, après 14 jours de rejet.

Les simulations montrent que le régime stationnaire (ou permanent) est atteint au bout de quelques jours de simulation. Ainsi, dans la suite nous ne représentons que les résultats obtenus après 14 jours de simulation. Notons aussi que, et pour faciliter la comparaison des résultats, la même échelle sera utilisée dans toutes les présentations graphiques des résultats des simulations suivantes.

5.7.6.2. Résultats de la simulation de l'état actuel avec un vent d'Ouest :

Après la phase de calage présentée plus haut, qui est globalement acceptable, nous avons simulé la dispersion de la tache thermique en mer avec le débit actuel mais sous l'effet d'un vent Ouest. En effet, les résultats des simulations de l'hydrodynamique de la baie de Tunis ont bien montré que le vent du secteur Ouest génère, dans la zone de rejet, des courants qui se dirigent vers le canal de navigation (conformément à la Figure 63). Ce vent est ainsi le plus défavorable vis-à-vis de l'éloignement des eaux chaudes vers le large.

Nous avons donc simulé la dispersion de la tache thermique dans la zone de rejet avec un vent Ouest. Le résultat correspondant à ce cas est présenté sur la figure 67 suivante. Cette figure, comparée à la figure 66, montre bien que l'étendue de la tache thermique est plus importante. En effet, entrainées par le courant marin près des côtes orienté vers le nord, les eaux chaudes reviennent plus au niveau du littoral et s'orientent vers le canal de navigation au nord et le

canal du lac sud de Tunis, au sud. Comme on s'y attendait, ce résultat confirme bien que le vent d'Ouest est le plus défavorable vis-à-vis de l'éloignement des eaux chaudes vers le large et de leur dilution.

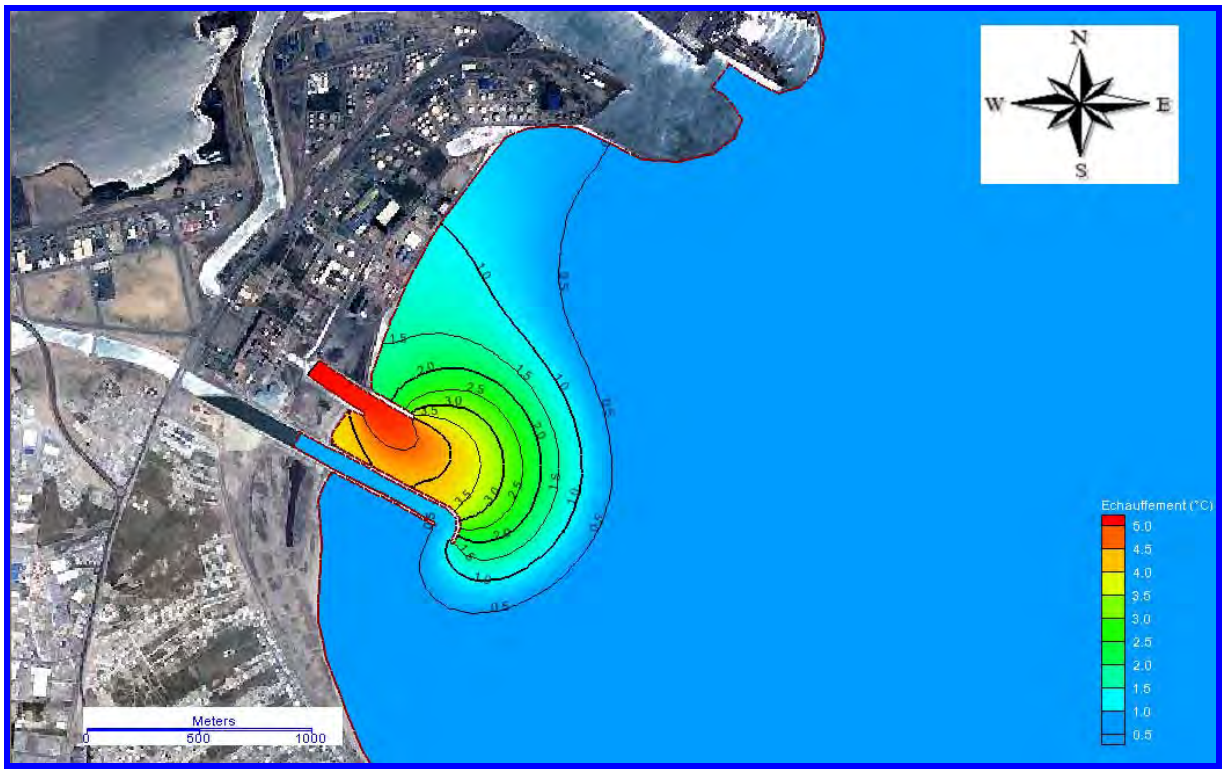


Figure 67: Courbes d'iso échauffement en mer - <u>Etat actuel</u> avec un vent Ouest.

Dans le tableau suivant, nous avons regroupé les surfaces affectées par différents échauffement des eaux (+4°C, +3°C, +2°C et +1°C) et ce pour les deux cas présentés plus haut et correspondant à l'état actuel.

<u>Etat Actuel :</u> Surfaces affectées par l'échauffement (en ha)

Echauffement	Le Jour des Mesures (27/9/2013)	Cas de Vent Ouest
Supérieur à **+4 °C**	13	18
Supérieur à **+3°C**	22	30
Supérieur à **+2°C**	31	51
Supérieur à +1°C	**70**	**100**

Ce tableau montre que les eaux caractérisées par un échauffement supérieur à +2°C restent très proches du point de rejet. En effet, la surface de la zone affectée par un échauffement supérieur à +2°C en mer atteint 50 ha. D'autre part, la superficie de la zone affectée par un échauffement supérieur à +1°C atteint environ 100 ha.

D'après le résultat présenté sur la figure 67, nous remarquons que les eaux chaudes s'approchent du canal de navigation (du port de La Goulette) mais sans y entrer.

Au Sud du canal de rejet, un léger échauffement atteint le canal du lac Sud de Tunis, toutefois les eaux entrants dans le lac sud restent caractérisées par un échauffement négligeable.

5.7.7. Simulations de l'impact après extension (débit 67,8 m3/s)

Dans ce qui suit, nous allons présenter les résultats des simulations de la dispersion de la tache thermique suite à l'extension prévue par la STEG à Radès. Rappelons que dans ce cas (après la réalisation de la centrale Radès C) le débit d'eau rejetée passera de 57,8 m3/s actuellement à 67,8 m3/s, comme nous l'avons indiqué précédemment, et ce avec un échauffement de +5°C par rapport aux eaux de refroidissement captées.

Nous avons alors simulé les trois scénarios présentés plus haut (Sans Vent ; Avec un Vent d'Est ; et avec un Vent d'Ouest). Nous tenterons alors de comparer les résultats entre eux d'une part, mais aussi à ceux retrouvés à l'état actuel d'autre part.

5.7.7.1. Simulation du Cas Sans vent :

Pour le cas sans vent, nous avons remarqué que les vitesses sont faibles dans la baie de Tunis (Figure 57), mis à part les vitesses dues au rejet lui-même. Ainsi, les eaux chaudes devraient s'orienter plus vers le large en se diluant. Ceci est bien confirmé par les résultats de la simulation montrés sur la figure 68 et qui ont été obtenus après 14 jours de rejet.

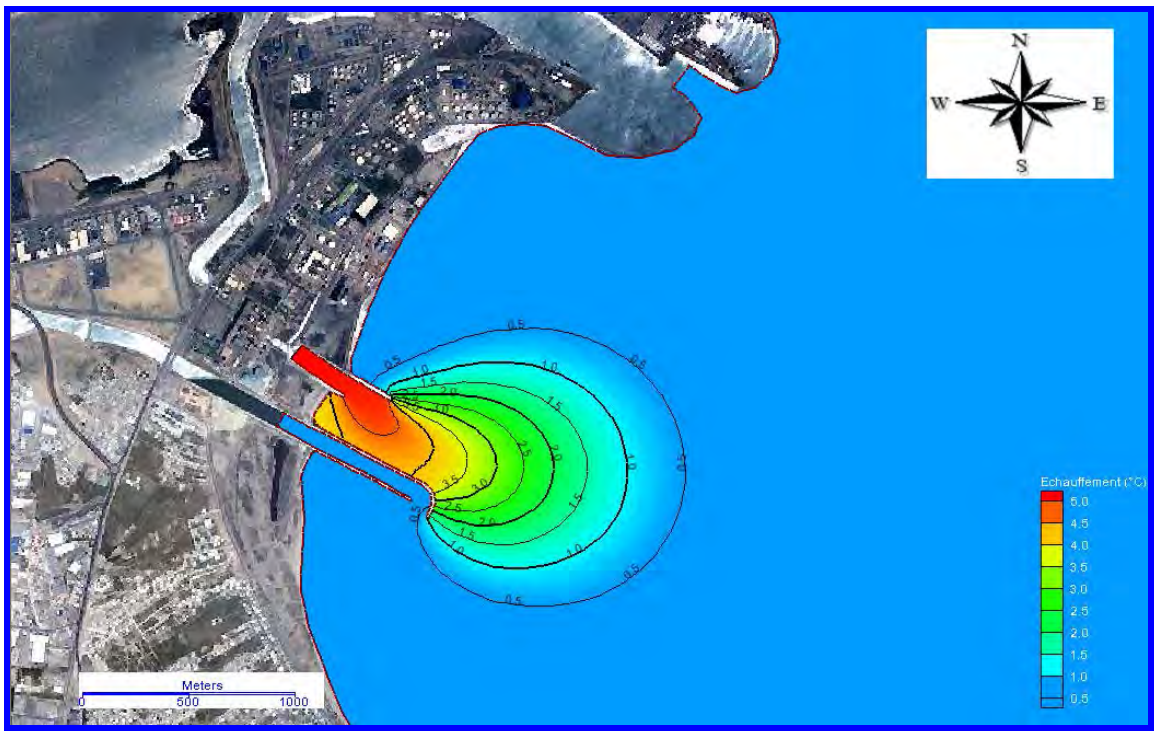


Figure 68: Courbes d'iso échauffement en mer - <u>Etat Projeté</u>, Sans Vent.

L'analyse de cette figure montre que la superficie de la zone affectée par un échauffement supérieur à +2°C en mer est d'environ 51 ha et celle affectée par un échauffement supérieur à +1°C est de l'ordre de 93 ha.

Ce résultat confirme aussi que les eaux chaudes rejetées par les centrales électriques de Radès ne reviendront pas au canal de captage des eaux de refroidissement (le canal de navigation) et ne pénètreront pas dans le lac Sud de Tunis.

5.7.7.2. Simulation du Cas de Vent d'Est :

Comme nous l'avons vu précédemment, dans la zone de rejet, le vent Est génère des courants qui s'orientent vers les canaux des centrales électriques et du lac Sud de Tunis (Figure 60). Cette structure du courant devrait confiner encore plus la tache thermique.

La figure 69 montre les courbes d'iso-échauffement calculées dans ce cas après 14 jours de rejet.

Cette figure montre que la superficie de la tache thermique est plus faible que celle obtenue sans vent. En effet, la surface de la zone affectée par un échauffement supérieur à +2°C en mer ne dépasse pas 40 ha et celle affectée par un échauffement supérieur à +1°C ne dépasse pas 87 ha.

Nous concluons donc que le vent du secteur Est est un vent favorable à la dispersion des eaux chaudes dans la zone de Radès.

Dans ce cas aussi, les résultats montrent que les eaux chaudes rejetées par les centrales électriques de Radès ne reviendront pas au canal de captage des eaux de refroidissement et n'entreront pas au lac Sud de Tunis.

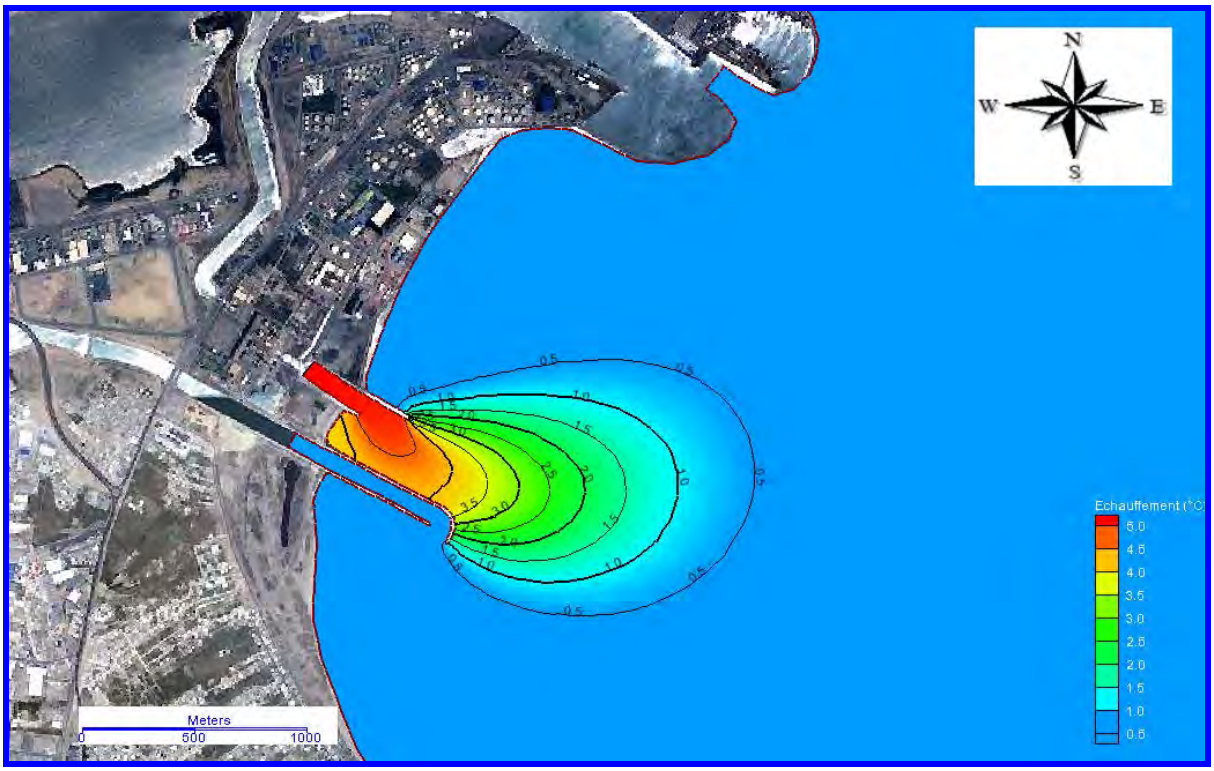


Figure 69: Courbes d'iso échauffement en mer - Etat Projeté, Avec Vent d'Est.

5.7.7.3. Simulation du Cas de Vent d'Ouest :

Nous avons aussi réalisé une simulation de la dispersion de la tache thermique avec un vent du secteur Ouest. En effet, comme nous avons remarqué précédemment, ce vent est le plus défavorable vis-à-vis de la dispersion des eaux chaudes dans la zone côtière.

La figure 70 montre les courbes d'iso-échauffement calculées dans ce cas après 14 jours de rejet.

Cette figure 70, comparée aux figures 68 et 69, montre bien que l'étendue de la tache thermique est plus importante. En effet, la surface de la zone affectée par un échauffement supérieur à +2°C en mer atteint 54 ha et celle affectée par un échauffement supérieur à +1°C atteint 110 ha.

Comparée à l'état actuel avec le même vent Ouest (figure 67), une légère augmentation des surfaces affectées par les eaux chaudes est ainsi observée suite à l'extension prévue par la STEG.

Cependant, même après extension, la figure 68 montre bien que les eaux chaudes rejetées par les centrales électriques de Radès ne reviendront pas au canal de captage des eaux de refroidissement (le canal de navigation via le port de La Goulette). Au Sud du rejet, un léger

échauffement atteindra le canal du lac Sud de Tunis, toutefois les eaux entrants dans le lac Sud resteront caractérisées par un échauffement négligeable.

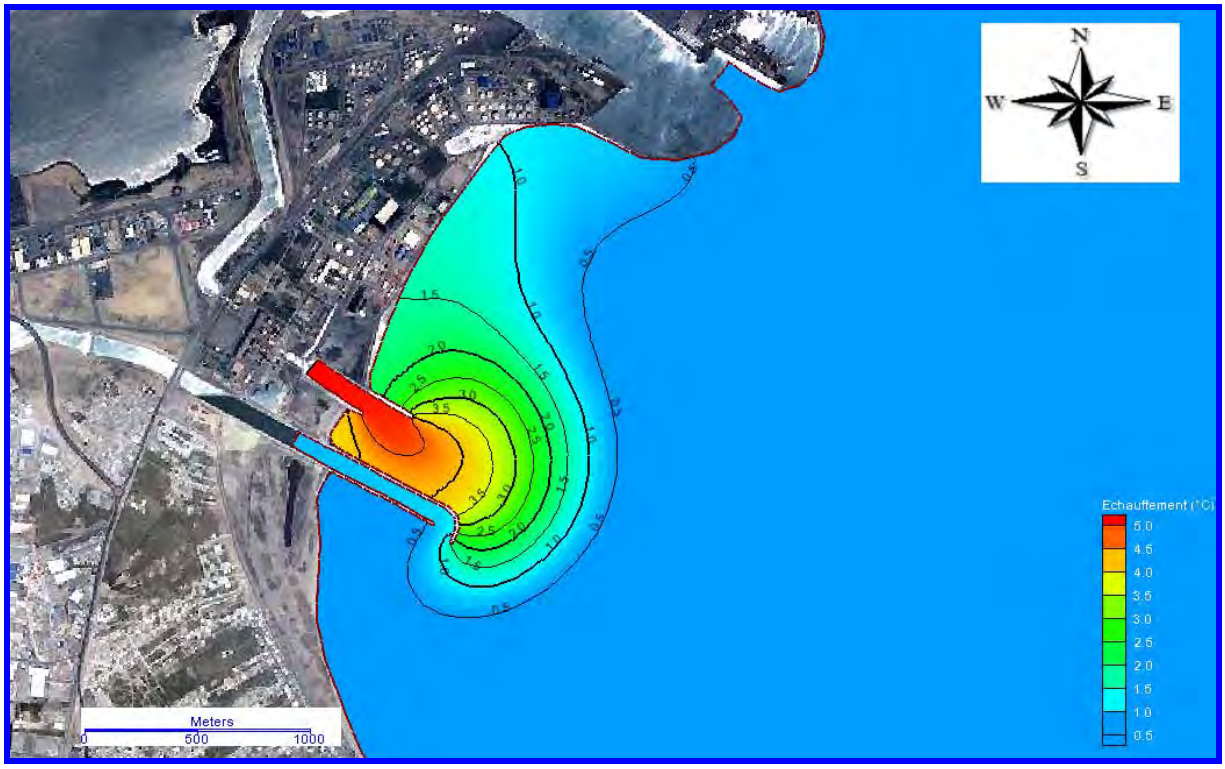


Figure 70: Courbes d'iso échauffement en mer - <u>Etat Projeté</u>, Avec Vent d'Ouest.

Dans le tableau suivant, nous avons regroupé les surfaces affectées par différents échauffement des eaux (+4°C, +3°C, +2°C et +1°C) calculés dans les trois cas présentés plus haut et correspondant à l'état projeté (après l'extension prévue par la STEG à Radès).

<u>Etat Projeté :</u> Surfaces affectées par l'échauffement (en ha)

Echauffement	Sans Vent	Vent d'Est	Vent d'Ouest
Supérieur à **+4 °C**	18	15	18
Supérieur à **+3°C**	28	27	34
Supérieur à **+2°C**	51	40	54
Supérieur à +1°C	**93**	**87**	**110**

Ce tableau confirme bien que le vent d'Est est favorable à la dispersion des eaux chaudes alors que le vent d'Ouest est défavorable. Il montre aussi que la superficie de la zone affectée par un échauffement supérieur à +1°C ne dépassera pas 110 ha.

5.7.8. Synthèse des résultats des simulations de la dispersion thermique

Dans le tableau suivant, nous comparons les surfaces affectées par différents échauffement des eaux (+4°C, +3°C, +2°C et +1°C) calculées à l'état actuel à celles prédites suite à l'extension prévue, et **ce dans le cas le plus défavorable** (avec un vent du secteur Ouest).

Comparaison des surfaces affectées par l'échauffement (en ha)

Echauffement	Etat Actuel	Après Extension
Supérieur à **+4 °C**	18	18
Supérieur à **+3°C**	30	34
Supérieur à **+2°C**	51	54
Supérieur à +1°C	**100**	**110**

L'analyse de ce tableau montre en particulier que l'extension prévue par la STEG à Radès entrainerait une légère augmentation de la surface affectée par l'échauffement. En effet, l'augmentation **maximale** concernera la zone affectée par un échauffement supérieur à 1°C, qui passera de 100 ha à l'état actuel à 110 ha après l'extension (soit une augmentation de l'ordre de 10%). Ceci est évidemment dû à l'augmentation du débit de rejet d'eaux chaudes qui passera de 57,8 m3/s à l'état actuel à 67,8 m3/s après l'extension (soit une augmentation de l'ordre de 17%).

5.7.9. Conclusions

Dans cette partie, par simulations numériques, nous avons tenté de comprendre la structure des courants dans le golfe de Tunis et ce sous différentes conditions climatiques et sous l'effet de la marée. Ces simulations montrent que, dans le golfe, les courants sont principalement générés par le vent. Avec un vent du secteur Est, la circulation est giratoire, dans le sens des aiguilles d'une montre, dans la zone Ouest du golfe et au niveau de la baie de Tunis, alors qu'un vent Ouest génère une circulation giratoire qui tourne dans le sens inverse.

Dans la zone de rejet des eaux chaudes des centrales électriques de Radès, la circulation est particulière et ce à cause de la présence des digues du canal de rejet et celles du canal du lac Sud de Tunis. C'est ainsi qu'un vent du secteur Ouest génère des courants qui sont défavorables vis-à-vis de la dispersion des eaux chaudes en milieu marin.

Rappelons que le rejet des eaux chaudes par les centrales électriques de Radès, même après les extensions prévues, respectent parfaitement les normes Tunisiennes (NT 106-02) de rejet en

milieu marin puisque la température de ces eaux rejetées ne dépassera pas dans tous les cas les 35°C.

Malgré cela, dans cette partie, nous avons mis au point et calé un modèle de simulation numérique de la dispersion de la tache thermique dans la zone proche du rejet et ce en se basant sur les températures mesurées dans cette zone le 27 septembre 2013.

Ce modèle nous a permis ensuite de simuler l'impact de l'augmentation des rejets d'eaux chaudes suite à l'extension des centrales électriques de Radès prévue par la STEG. Ces simulations ont confirmé que la zone affectée par les eaux chaudes serait légèrement plus importante. Cette augmentation de la zone affectée par l'échauffement ne dépassera pas, dans le cas le plus défavorable, 10% par rapport à l'état actuel.

Cependant, même après l'extension prévue, les simulations ont bien montré que les eaux chaudes rejetées par les centrales électriques de Radès ne reviendront pas au canal de captage des eaux de refroidissement (le canal de navigation via le port de La Goulette).

D'autre part, au Sud du rejet, les eaux entrantes dans le lac sud de Tunis resteront caractérisées par un échauffement négligeable et ce même après la réalisation de la centrale prévue.

5.8. ETUDE DE DISPERSION DES EMISSIONS ATMOSPHERIQUES

5.8.1. Introduction

L'objectif de cette étude est de modéliser la dispersion atmosphérique de certains polluants en fonction des données du site (caractéristiques des émissions et les conditions climatiques locales).

Ce rapport présente le calcul des concentrations des polluants, effectué grâce à un outil de modélisation numérique de la dispersion atmosphérique, spécialement conçu pour ce type de problème : le logiciel Aria Impact.

Le présent rapport a été établi sur la base des informations transmises, des données (scientifiques ou techniques) disponibles et objectives de la règlementation en vigueur au moment de la réalisation du dossier.

5.8.2. Calage et résultats du modèle de simulation

5.8.2.1. domaine d'étude

La nouvelle centrale de Rades est située au gouvernorat de Tunis, environ 13 km au centre-ville. Le domaine d'étude est présenté sur la Figure ci dessous par un rectangle rouge. Il s'agit d'un rectangle de 17 km sur 10km de côté, centré sur le projet.

Figure 71: Domaine d'étude - carré de 30 km de côté (source Google Earth).

5.8.2.2. Météorologie

Les paramètres les plus importants pour les problèmes liés à la pollution atmosphérique sont : la direction du vent, la vitesse du vent, la température extérieure, la pluviométrie, la stabilité de l'atmosphère.

Ces paramètres sont variables dans le temps et dans l'espace. Ils résultent de la superposition de phénomènes atmosphériques à grande échelle (régime cyclonique ou anticyclonique) et de phénomènes locaux (influence de la rugosité, de l'occupation des sols et de la topographie). C'est pourquoi il est nécessaire d'utiliser les chroniques météorologiques :

- suffisamment longues et complètes,
- représentatives de la climatologie du site.

a) Données météorologiques

Plusieurs paramètres rentrent en ligne de compte pour le choix de la station météorologique la plus représentative de la zone d'étude :

1. sa position géographique : la station retenue doit être la plus proche possible de l'installation et il ne doit pas exister d'obstacle majeur entre la station et la zone d'étude.

2. la cadence d'acquisition des données météorologiques : nous avons besoin de données météorologiques suffisamment fines au niveau horaire pour avoir une bonne représentativité de la météorologie locale et pour prendre en compte les phénomènes météorologiques diurnes. Il est habituel d'utiliser des bases de données météorologiques comportant des données concernant le vent, la température et la nébulosité toutes les heures ou toutes les 3 heures pendant plusieurs années.
3. la pertinence des données météorologiques.

Selon les critères ci-dessus, les données météorologiques retenues pour la simulation de dispersion proviennent de la station Météo Metar de Tunis Carthage pour les observations de température, de nébulosité et de vent (vitesse et direction) .Tunis-Carthage est la station la plus proche disposant de données pour ce paramètre).

Les données météorologiques utilisées sont des mesures horaires (1 mesure toutes les heures) du vent (force et direction), et de la température et de la nébulosité sur trois années complètes : du 01/01/2010 au 31/12/2012.

b) Roses des vents

La rose des vents, en un lieu donné, est la représentation graphique des fréquences des vents classées par direction et par vitesse. Les intersections de la courbe avec les cercles d'une fréquence donnée fournissent les fréquences d'apparition des vents.

Pour la simulation de la dispersion des émissions atmosphériques, nous nous sommes basés sur les données de la météo d'il y a 5 ans ce qui veut dire : de 2010 jusqu'à 2012.

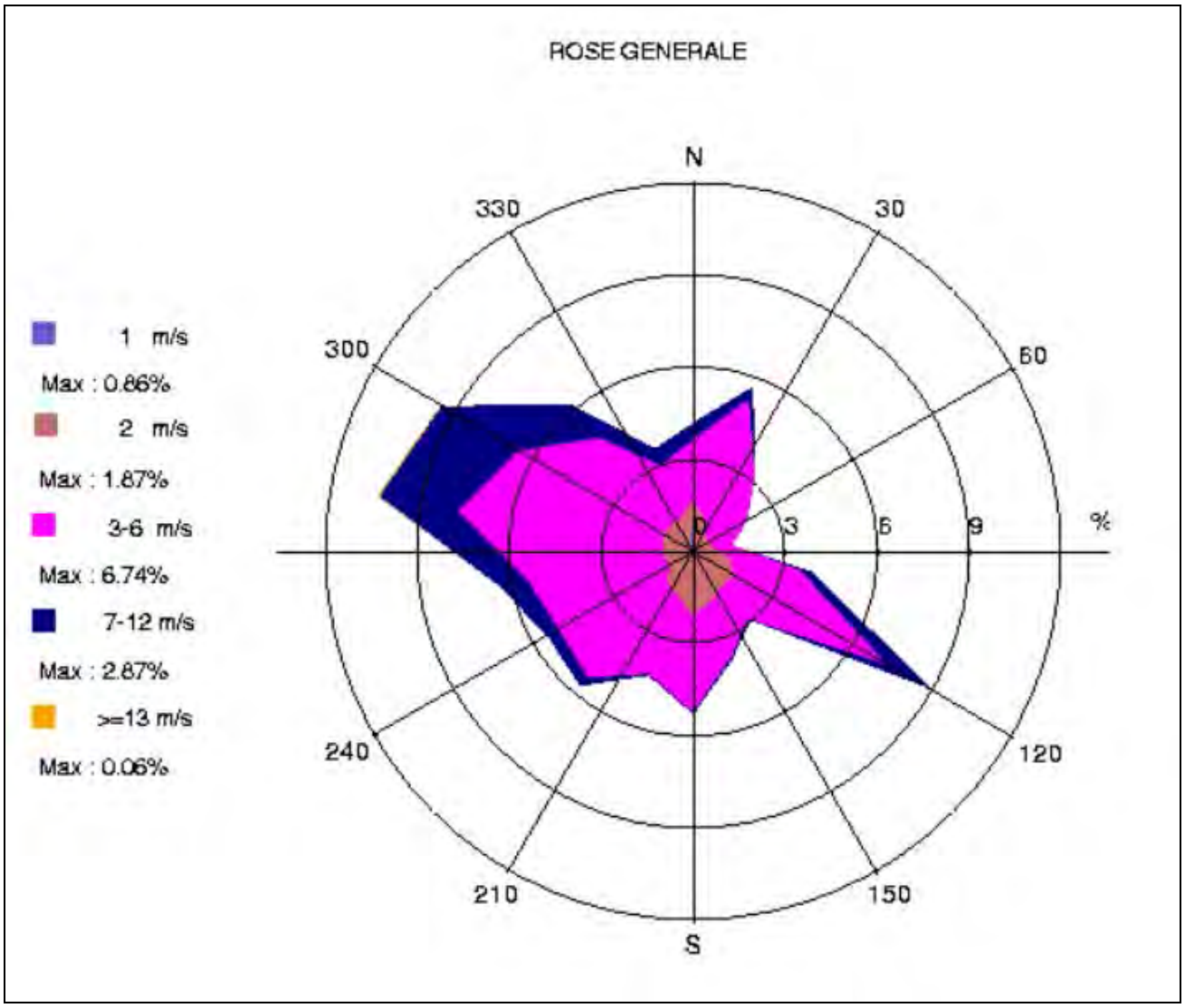


Figure 72: Rose des vents (Tunis-Carthage 2010-2012).

5.8.2.3. Stabilité *atmosphérique*

La stabilité de l'atmosphère est destinée à quantifier les propriétés diffuses de l'air dans les basses couches. Elle est souvent associée à la structure thermique de l'atmosphère : par exemple, les situations d'inversion thermique se produisent lorsque l'atmosphère est stable.

Elle est déterminée à partir des données de nébulosité et de vent qui conduit à distinguer six catégories de stabilité de l'atmosphère :

- Classe A : Très instable
- Classe B : Instable
- Classe C : Légèrement instable
- Classe D : Neutre

- Classe E : Stable
- Classe F : Très stable

Plus l'atmosphère sera stable (catégories E et F), plus les conditions de dispersion seront défavorables. Ces situations freinent le déplacement des masses d'air et se retrouvent principalement par vents faibles et la nuit.

5.8.2.4. Étude des *émissions* atmosphériques

Ce paragraphe est relatif à une étude de dispersion des gaz émis à partir des cheminées pour ce projet. L'objectif est la vérification de la conformité des concentrations des polluants au sol avec les normes de rejets relatives au bien être et à la santé publique.

Les calculs de dispersion sont faits par un modèle mathématique appuyé par une série de données météorologiques de la station météorologique de Tunis-Carthage. Pour élaborer cette partie de l'étude, on s'est basé sur des données météo de 3ans (de 2010 jusqu'à 2012).

5.8.2.5. Evolution d'un panache d'une source

Les gaz émis par une source isolée dans la basse atmosphère subissent une diffusion due à la turbulence créée par le panache lui-même à la sortie de la source d'une part, et à la turbulence d'origine mécanique et convective de l'atmosphère environnante d'autre part. On peut distinguer donc trois phases dans l'évolution du panache à savoir :

- première phase : Le panache est presque vertical et la composante verticale de la vitesse propre est supérieure à la vitesse horizontale du vent. Cette phase prend fin lorsque la composante verticale de la vitesse du panache est du même ordre de grandeur que la vitesse du vent;
- deuxième phase : Le panache se courbe et devient approximativement horizontal. Elle prend fin lorsque la vitesse du panache est du même ordre de grandeur que les fluctuations de la vitesse du vent;
- troisième phase : Les gaz du panache ont une densité égale à celle de l'air atmosphérique et ont une quantité de mouvement relativement faible. La diffusion dépend des propriétés de l'atmosphère environnante.

5.8.2.6. Paramètres météorologiques

La diffusion d'un panache dépend essentiellement des phénomènes d'origine mécanique et convective se produisant dans les basses couches atmosphériques et que l'on peut caractériser par les deux paramètres fondamentaux.

- Le gradient vertical de vitesse $\partial U / \partial z$

- Le gradient vertical de température $\partial T / \partial z$

A ces deux paramètres et pour un site donné, sont liées les caractéristiques des turbulences à petite échelle. Selon l'importance d'un type de turbulence par rapport à l'autre, l'atmosphère peut être stable, neutre ou instable. Le degré de stabilité peut être caractérisé en comparant le gradient vertical de température $\partial T / \partial z$ au gradient de température adiabatique ($-\Gamma$ = -1°C/100m).

Cette comparaison se fait généralement en utilisant le nombre de Richardson suivant :

$$R_i = \frac{\frac{\partial T}{\partial z} + \Gamma}{(\frac{\partial u}{\partial z})^2}$$

Si Ri < 0 l'atmosphère est instable
Si Ri = 0 l'atmosphère est neutre
Si Ri > 0 l'atmosphère est stable

5.8.2.7. Méthodes d'étude de la dispersion des gaz dans l'atmosphère

La turbulence atmosphérique est responsable de la diffusion des effluents gazeux dans l'air à des distances importantes de la source. Il n'existe malheureusement pas actuellement de théorie complète à cause du caractère non linéaire de l'équation de la diffusion en écoulement turbulent. Les théories conventionnelles, théorie statistique-analogie moléculaire et similitude Lagrangienne, conduisent à des formules qui, malgré leur large champ d'application, nécessitent un complément de recherche pour une meilleure connaissance de la physique de la diffusion turbulente.

Le choix entre les différentes méthodes de traitement relève souvent de la nature appliquée ou théorique du problème de diffusion turbulente étudiée. La principale grandeur recherchée reste cependant la même: le champ spatial et temporel de distribution de concentration C (x, y, z, t) en tout point de l'espace.

Les problèmes d'estimation de la dispersion à partir des sources industrielles sont plutôt de nature appliquée. La préoccupation principale est de ne pas dépasser certains seuils de concentrations de polluants au sol pour les différentes situations météorologiques rencontrées. Ainsi les modèles développés se limitent souvent au calcul des concentrations maximales mesurées au sol, d'où la justification d'un certain degré d'empirisme dans les hypothèses de calcul pour rendre ces modèles opérationnels.

5.8.2.8. Les différentes approches conventionnelles

Equation de base

Rappelons que l'équation qui contrôle l'évolution d'un scalaire passif C (concentration) dans un champ turbulent est donné par:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U_i \frac{\partial C}{\partial x_i} = -\frac{\partial}{\partial x_i}(U_i' C') + D\frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

Avec :

U_i : Composante de la vitesse moyenne du vent

D : coefficient de diffusion moléculaire

C', U_i' : fluctuation des grandeurs **C** et **U_i**

La plupart des modèles applicables à l'étude de la dispersion atmosphérique utilisent une fermeture du type gradient de l'équation ainsi linéarisée :

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U_i \frac{\partial C}{\partial x_i} = -\frac{\partial}{\partial x_i}(k_{ii}\frac{\partial C}{\partial x_i})$$

Où l'on néglige le terme de diffusion moléculaire et l'on ne retient que les éléments diagonaux de tenseur de diffusivité kij. Cette équation n'est que l'expression généralisée de la loi de Fick dans le cas d'une diffusion tridimensionnelle non homogène et non isotrope. La résolution de cette équation nécessite évidemment l'introduction des profils de diffusivités kij qui permettent d'exprimer les caractéristiques turbulentes de l'écoulement (la turbulence étant alors considérée comme une "boite noire" dans la mesure où l'on ne s'intéresse qu'à ses effets. Les théories conventionnelles, théories statistiques, analogie de Reynold, similitude de Lagrangienne conduisent à des formulations plus au moins élaborées pour exprimer les profits de diffusivité (ou les coefficients de transfert ou de dispersion qui en découlent tels les écarts types de dispersion dans le cas du modèle Gaussien), en adoptant différents schémas de paramétrisation.

<u>Les différents modèles utilisés</u>

Ces théories ont été le point de départ de deux types de résolution de l'équation de diffusion, analytique et numérique. En pratique, il existe deux types de modèles pour l'étude de la dispersion des gaz dans l'atmosphère à savoir:

- Des modèles semi-empiriques: Ces modèles négligent la diffusion longitudinale et considèrent un régime permanent. La formulation mathématique devient dans ce cas:

$$U\frac{\partial C}{\partial x} = k_{yy}\frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + k_{zz}\frac{\partial^2 C}{\partial z^2}$$

Pour ces formulations, on distingue le modèle Pasquil Turner qui considère une répartition Gaussienne de la diffusivité turbulente Kii et en émission continue et le modèle de Bouffée qui considère une émission instantanée.

Ces modèles peuvent simuler surtout la pollution au sol (retombées) et de l'étudier d'une manière statistique sur de longues périodes (10 à 20 ans), avec la prise en compte des normes relatives à la qualité de l'air.

- Des modèles numériques: Ces modèles considèrent un régime permanent et supposent un profil à gradient vertical de vitesse et de diffusivité turbulente. La résolution numérique de l'équation:

$$U_i \frac{\partial C}{\partial x_i} = -\frac{\partial}{\partial x_i}(k_{ii} \frac{\partial C}{\partial x_i})$$

Est généralement faite par la méthode des différences finies. Ces modèles ont plus l'avantage de prendre en considération l'effet des écrans pouvant modifier la structure théorique du panache et de donner plus d'informations liées à la dispersion des gaz dans l'espace. Ces modèles nécessitent un long temps de calcul et ne font pas un traitement statistique sur une longue période.

5.8.2.9. Présentation du modèle : Aria Impact

Le logiciel Aria Impact, un outil de calcul de la dispersion atmosphérique, a été développé pour pouvoir réaliser des projets portant sur la pollution atmosphérique, les études de risques pour la santé, les études d'impact sur l'environnement et le dimensionnement d'équipement d'atténuation des rejets à l'atmosphère.

Ce logiciel, faisant appel à plusieurs notions relatives à la dispersion atmosphérique de contaminants et s'adresse à tout professionnel relié au domaine de l'environnement, a pour fonction de simuler la dispersion atmosphérique des polluants gazeux légers et des particules fines provenant de sources diverses

Les méthodes actuellement utilisées pour l'estimation des taux de pollution à partir d'une source industrielle isolée font le plus souvent appel à une formule de sur-hauteur et une formule de dispersion. Nous allons présenter, dans ce qui suit, les différentes étapes qu'on doit affranchir pour aboutir à l'estimation de la pollution autour d'une surface émettrice.

5.8.2.10. Formule de dispersion

Principe du modèle : Les gaz issus des sources d'émissions se dispersent dans l'atmosphère suivant les conditions météorologiques de la zone. La concentration C(x, y) au sol sous l'axe du panache des gaz en fonction des distance x et y à la source et de la hauteur totale H du panache, est définie comme suit par le modèle Gaussien:

$$c_{(x,y,z)}=\frac{Q}{2\pi\bar{U}\sigma_y\sigma_z}exp\left\{-\frac{y^2}{2\sigma_y{}^2}\right\}\cdot\left[exp\left\{-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z{}^2}\right\}+exp\left\{-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z{}^2}\right\}\right]$$

Où:
C: concentration du polluant (µg/m^3);
Q: débit massique de polluant à l'émission (g/s);
U: vitesse moyenne du vent au sommet de la source (m/s);
σy : coefficient de dispersion latéral (m²/s) ;
σz : coefficient de dispersion vertical (m²/s) ;
x, y, z: position à partir de la source à (0, 0, H)
H: la hauteur effective du panache (m)

Ce modèle, reste certainement, le modèle de dispersion le plus utilisée. Il est basé sur la théorie des coefficients de dispersion turbulente, et est définie par la formulation ci-dessus :

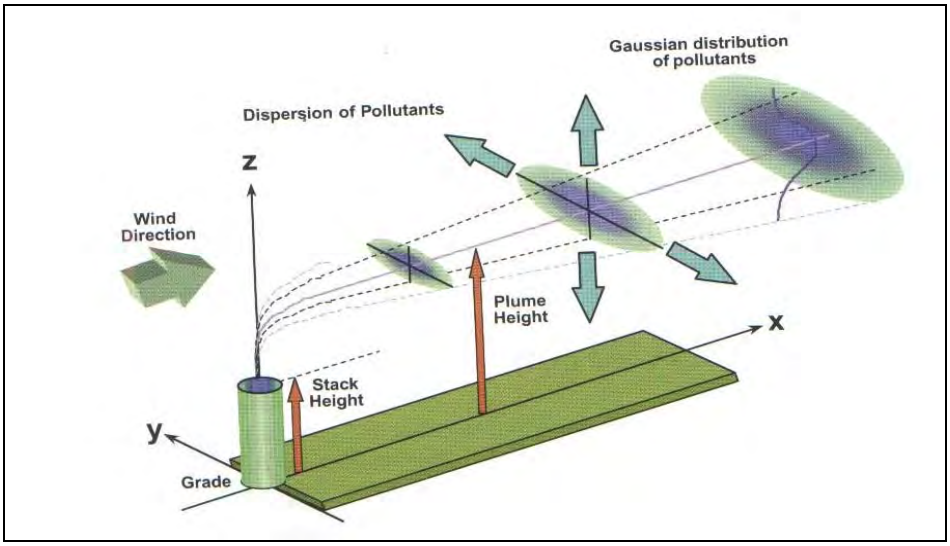


Figure 73: Principe du modèle Gaussien

5.8.2.11. Données nécessaires pour un modèle

Les données nécessaires au modèle sont :

- Les données d'émission :
    - Les coordonnées de la source fixe (x, y) ;

- Hauteur de la source d'émission (torche, cheminée, surface émettrices…) ;
- Débit d'émission (g/s) pour les sources ponctuelles et taux d'émissions (g/m2.s) pour les sources surfaciques;
- Température des effluents à la sortie (°Kelvin) ;
- Diamètre de la source d'émission (m) pour les sources ponctuelles et la surface (m2) pour les sources surfaciques ;
- Vitesse des effluents (vitesse calculée en fonction du diamètre de la source d'émission / ou surface émettrice et du débit de gaz).

- Les données météorologiques : Les donnes météorologiques spécifiques qui seront utilisées pour la modélisation. Dans le cas de la présente étude, nous avons utilisé des données horaires météorologiques pour une période de 5 ans représentatives de la région.

  - Direction du vent : c'est la direction vers laquelle souffle le vent, en degré, 0° correspondant au nord et en se déplaçant dans le sens horaire ;
  - Vitesse du vent ;
  - Température ambiante exprimée en Kelvins ;
  - La classe de stabilité atmosphérique (S) selon Pasquill (A=1, B=2, …, F=6) ;

5.8.2.12. Résultats attendus du modèle

Plusieurs types de présentation des résultats peuvent être produits à partir d'une simulation. Cela permet d'aborder un problème sous différents angles, et ainsi d'élargir et de faciliter l'interprétation des résultats obtenus. Le modèle fournit trois types de données à savoir:

- Les fréquences de dépassement de certains seuils;
- Les concentrations mensuelles;
- Les concentrations annuelles.

5.8.2.13. Simulation

Une simulation a été réalisée par le logiciel Aria Impact afin de spatialiser les concentrations des différents polluants dans les environs de la zone d'étude.

Les étapes de la simulation sont les suivantes :

- ✓ Chargement des données météo de la région de Rades (données de 3ans)
- ✓ Définition des sources émettrices (cheminées).

- ✓ Définition de la surface réceptrice,
- ✓ Lancement de la simulation.

Notre approche pour la simulation est la suivante :

- ✓ Visualiser les panaches de dispersion de chaque polluant dans la zone d'étude,
- ✓ Mesurer les concentrations des polluants étudiés dans des zones précises telle que le centre-ville et comparer les valeurs trouvées aux normes de rejets nationales et internationales.

5.8.2.14. Résultats Des Simulations

- ✓ Données de simulation

Les tableaux suivants illustrent les données utilisées dans la simulation de la dispersion des rejets à partir des cheminées :

Cheminée 1 (Rades A)	
Position	: (614469,10E _ 4072786,01N)
Hauteur cheminée	: 100 m
Débit d'émission par cheminée	: 10.3 g/s de NO_2 et 1.53 g/s de SO_2
Températures à la sortie des effluents	: 95 °C
Diamètre int. de la source (cheminée)	: 6 m
Débit des fumées à la sortie par cheminée	: 636 T/h
Cheminée 2 (Rades B)	
Position	: (614518.02E _ 4073109.23N)
Hauteur cheminée	: 100 m
Débit d'émission par cheminée	: 9.98 g/s de NO_2 et 1.05 g/s de SO_2
Températures à la sortie des effluents	: 95 °C
Diamètre int. de la source (cheminée)	: 6 m
Débit des fumées à la sortie par cheminée	: 617 T/h
Cheminée 3 (La nouvelle centrale Rades c)	
Position	: (614776.78E_4073301.52N)
Hauteur cheminée	: 85 m
Débit d'émission par cheminée	: 40.1 g/s de NO_2 et 3.8g/s de SO_2
Températures à la sortie des effluents	: 95 °C
Diamètre int. de la source (cheminée)	: 6 m
Débit des fumées à la sortie par cheminée	: 2500 T/h
Cheminée 4 (La centrale Rades II)	
Position	: (614516.42E_4073462.13N)
Hauteur cheminée	: 70 m
Débit d'émission par cheminée	: 10.45 g/s de NO_2 et 1.33g/s de SO_2
Températures à la sortie des effluents	: 95 °C
Diamètre int. de la source (cheminée)	: 5 m
Débit des fumées à la sortie par cheminée	: 620 T/h

✓ Résultats de la modélisation de la dispersion atmosphérique

La modélisation a permis de calculer les concentrations en moyenne annuelle et ce, au niveau de chaque nœud du domaine et pour chaque polluant.

Le résultat est affiché sous forme d'un panache accompagné d'un spectre coloré représentant ainsi la variation de la concentration des différents polluants à l'intérieur de la zone d'étude (milieu récepteur carré de 30km de côté).

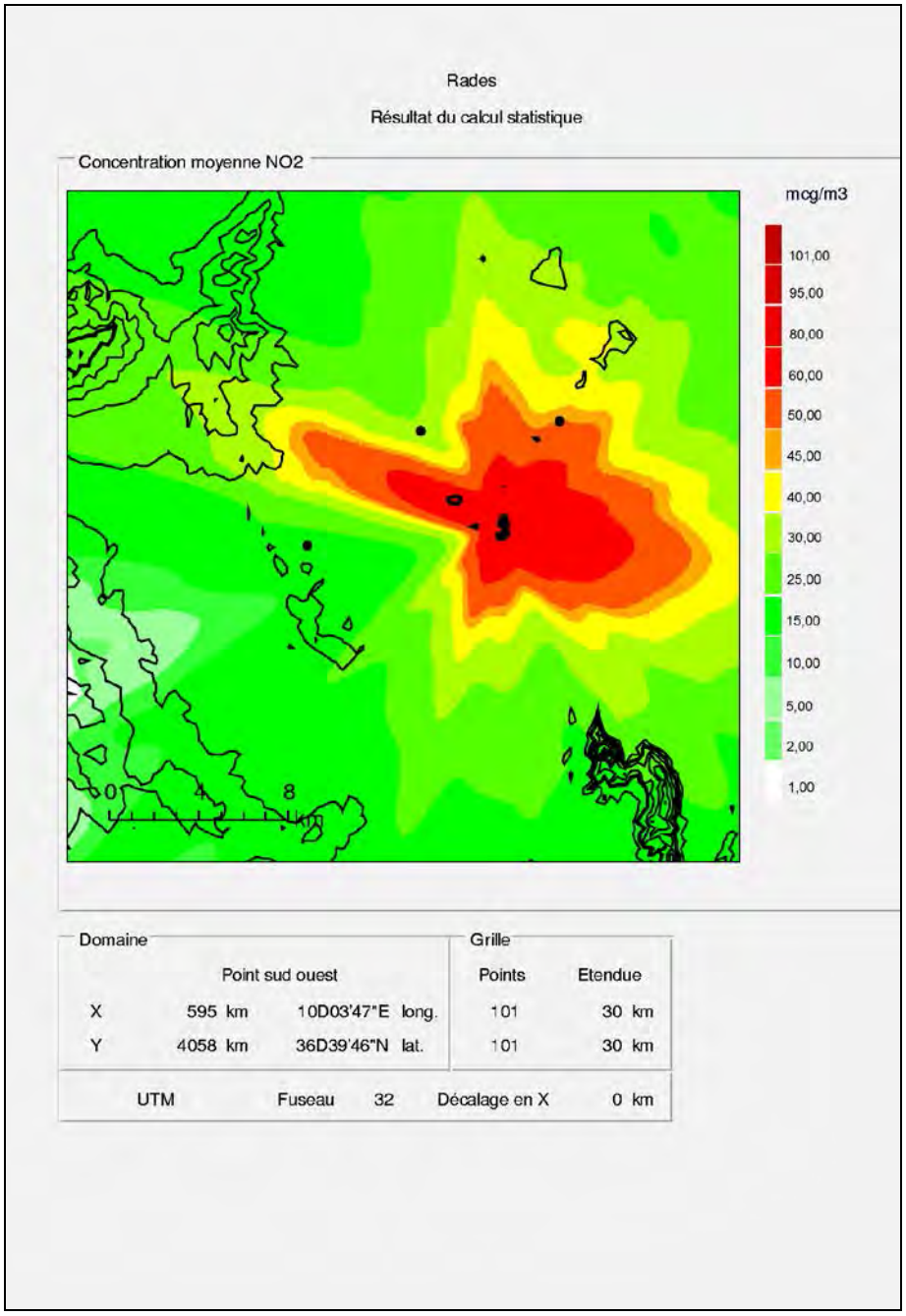


Figure 74: Carte de concentration en moyenne annuelle de NO2.

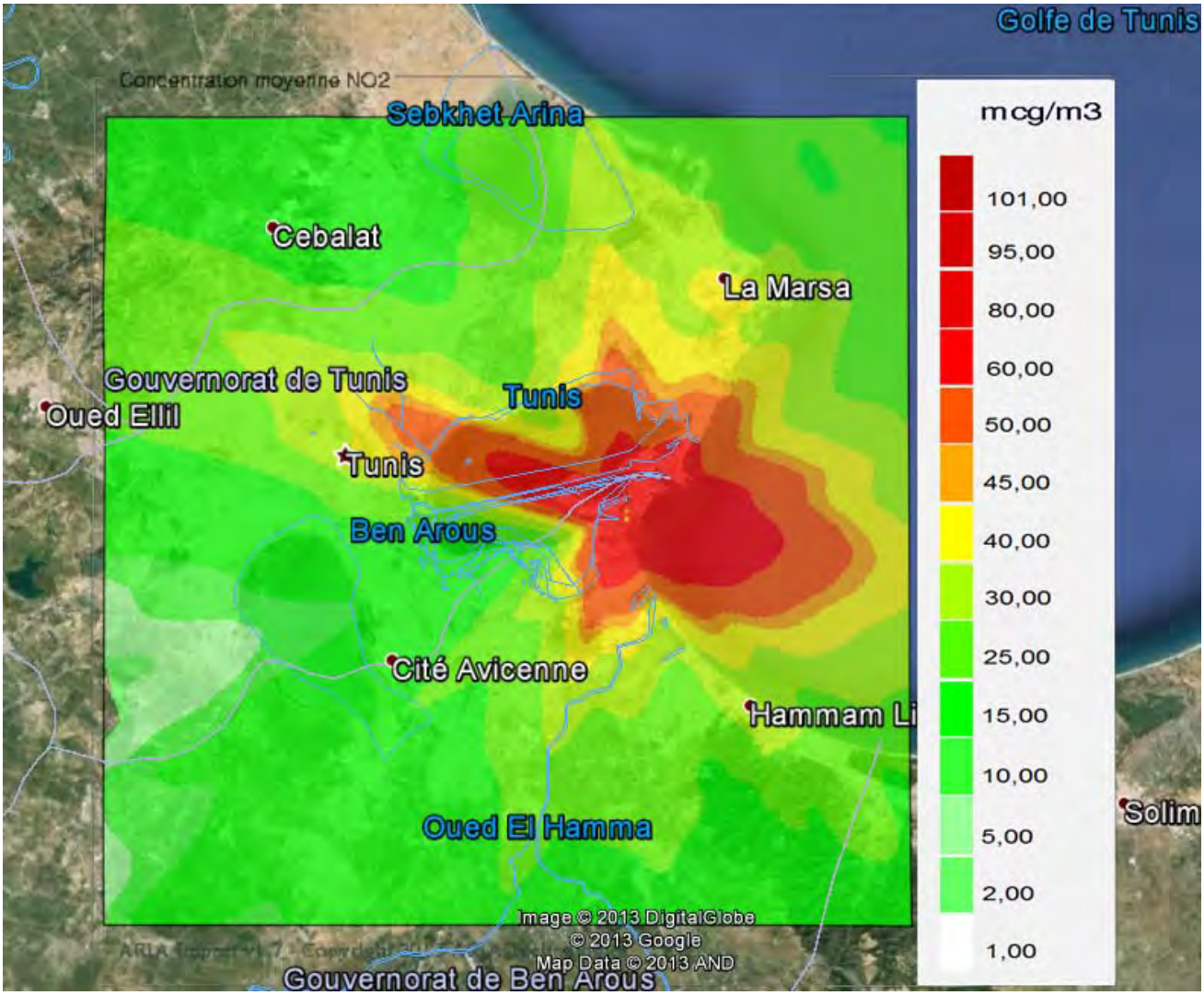


Figure 75: Carte de concentration en moyenne annuelle de NO2.

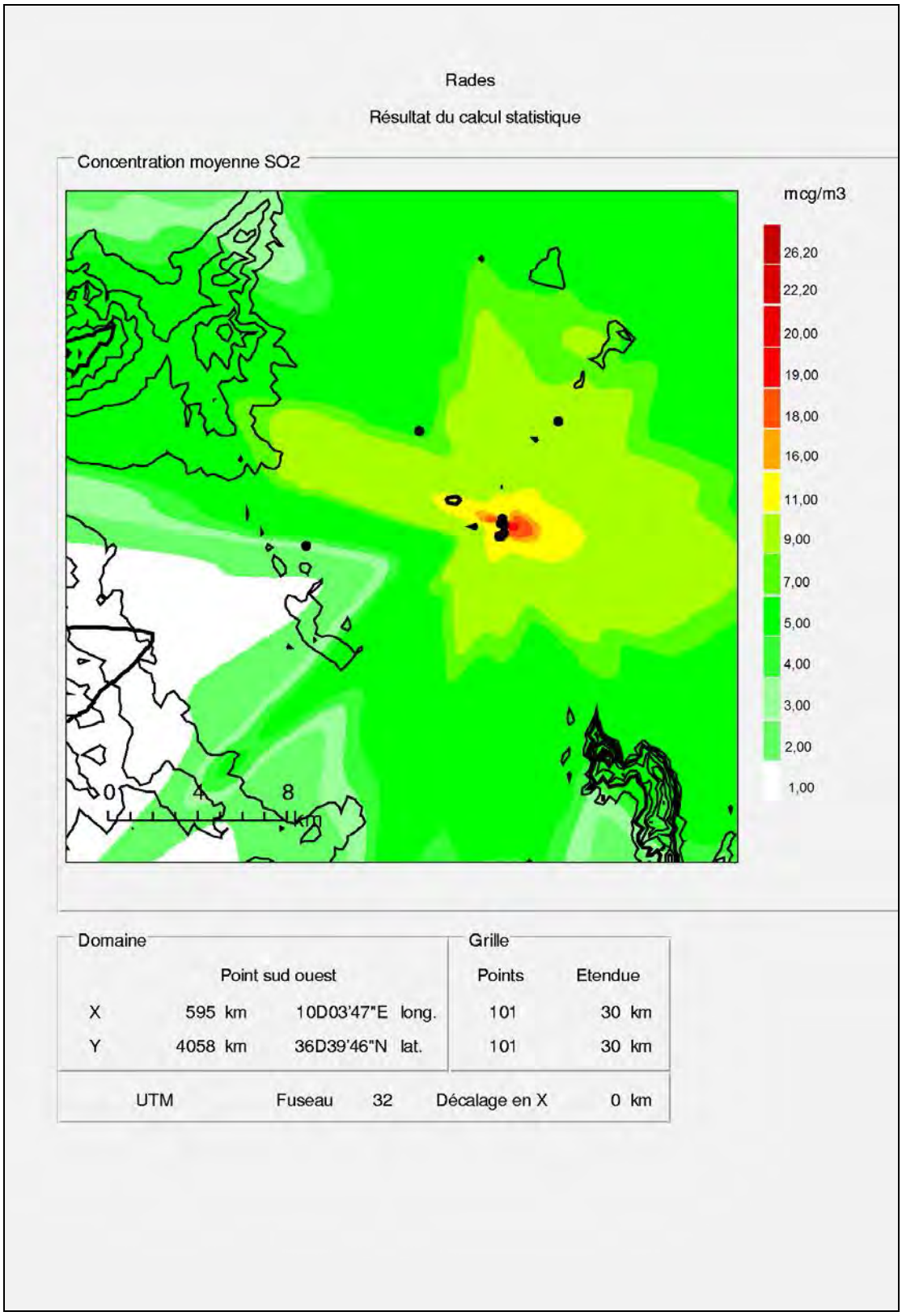


Figure 76: Carte de concentration en moyenne annuelle de SO_2.

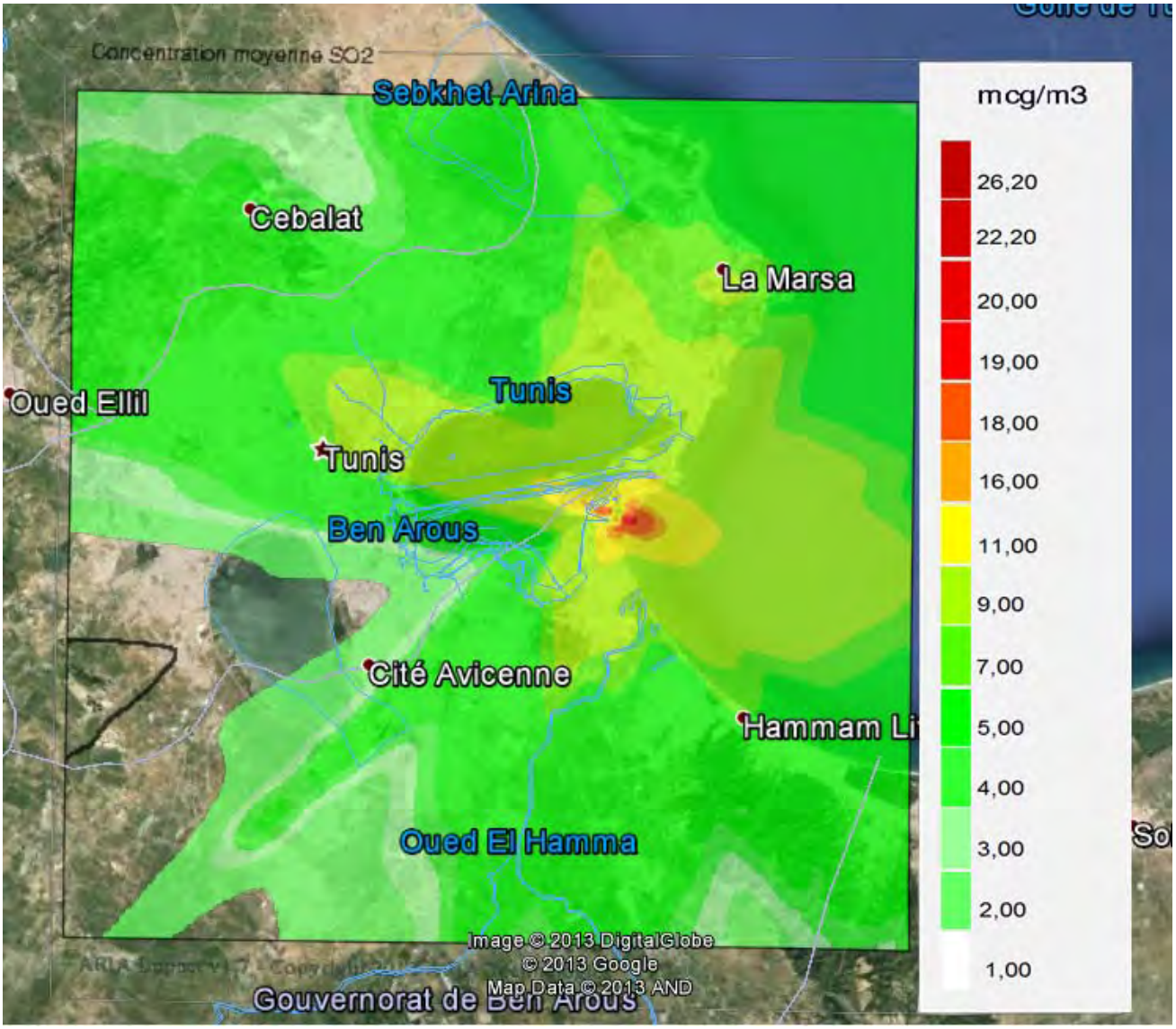


Figure 77: Carte de concentration en moyenne annuelle de SO_2.

5.8.2.15. Interprétation des résultats

D'après l'analyse des cartes, nous remarquons que l'impact maximal est localisé à l'est du site, là où il y a une prédominance des vents.

La concentration la plus importante se trouve à 600 mètres de la nouvelle centrale.

Tous les polluants sont émis par les deux cheminées et subissent les mêmes conditions météorologiques. Leur dispersion est donc identique, les cartes de concentrations obtenues sont semblables, à la différence près de l'échelle.

Les concentrations maximales, localisées au même point sur le domaine d'étude, sont présentées dans le tableau suivant. On peut donc les comparer aux normes de la qualité de l'air en Tunisie ainsi que sur le plan international.

Tableau 24 : Concentrations maximales modélisées et objectifs de qualité de l'air en moyennes annuelles

Polluants	Concentration maximal (µg/m^3)	Objectif de la qualité de l'air OMS (µg/m^3)	Norme Tunisienne (V. limite µg/m^3)	Norme Tunisienne (V. guide µg/m^3)
NO_2	132	40	200	150
SO_2	39	-	80	50

Il est à noter que les valeurs guides proposées par l'OMS sont des valeurs établies de façon à protéger la santé des populations.

Les concentrations en NO2 dépassent les objectifs de la qualité d'air de l'OMS. Concernant le dioxyde d'azote et le dioxyde de soufre, les concentrations modélisées sont inférieures aux valeurs limites et valeurs guides de la qualité d'air de la Tunisie.

Dans ce tableau ci-dessous, nous trouvons les valeurs limites d'émission applicables aux turbines à gaz, selon le décret n° 2010-2516 du 28 septembre 2010 ainsi que les émissions à la source (cheminées) pour le SO2 et le NO2.

Polluants	Les émissions à la source (cheminées)	Valeur limite d'émission (Norme Tunisienne)
NO_2	50 mg/Nm3	50 mg/Nm3
SO_2	8 mg/Nm3	10 mg/Nm3

Suite à une simple analyse du tableau, nous pouvons constater que les installations de combustion (nouvelle centrale à cycle combiné) respectent les valeurs limites d'émission.

5.8.2.16. Conclusion

La simulation de la dispersion des principaux polluants NO2 et SO2 dans les dégagements atmosphériques de la centrale en question prouve qu'aucun d'entre eux ne dépasse ni les limites nationales (Voir tableau précédent) ni internationales.

Ceci est garanti grâce aux dimensions bien choisies de la cheminée et grâce à la vitesse élevée à l'échappement. On confirme dans cette étude que les dégagements atmosphériques de la nouvelle centrale à cycle combiné de Rades ne présentent aucune menace ni sur la santé, ni sur l'environnement.

En effet, dans un but d'effectuer les estimations les plus précises pour une installation normalisée, cette étude inclut les cas les plus défavorables de fonctionnement. Il est à noter que

l'étude de la simulation en régime des combustibles Gaz Naturel/Gaz oil couvre toutes les zones pouvant être atteintes par les dégagements de la centrale.

En tenant compte des dimensions de la cheminée choisies par la STEG et d'après les travaux de modélisation des émissions atmosphériques, les dégagements atmosphériques issus de la nouvelle centrale de Rades ne présentent aucune menace ni sur la santé, ni sur l'environnement et ils ne dépassent pas les normes Tunisiennes et internationales.

CHAPITRE 6. MESURES ENVISAGEES POUR ELIMINER, REDUIRE OU COMPENSER LES CONSEQUENSES DOMMAGEABLES DU PROJET SUR L'ENVIRONNEMENT

6.1. INTRODUCTION

Après l'identification et l'évaluation des différents impacts du projet sur l'environnement, on procède dans ce chapitre à l'identification des mesures d'atténuation au cas où l'impact serait corrigible et des mesures de compensation au cas où l'impact ne serait pas corrigible. Ces mesures doivent répondre aux critères de faisabilité technique et économique du projet.

L'atténuation des impacts vise à avoir une meilleure intégration possible du projet au milieu. A cet égard, l'étude précise les actions, les ouvrages, les correctifs ou les ajouts prévus aux différentes phases de la réalisation, pour éliminer les impacts négatifs associés à chacune des variantes ou pour réduire leur intensité, de même que les actions ou les ajouts prévus pour favoriser ou maximiser les impacts positifs.

6.2. MESURES DURANT LES TRAVAUX

La STEG de Rades dispose un terrain assez vaste pour mener toutes les opérations de chantier à l'intérieur du site. Pour réduire les effets de la phase de construction sur l'environnement, la STEG pourrait tenir compte des recommandations suivantes :

- Toutes les opérations du chantier de construction seront réalisées à l'intérieur du site clôturé de la STEG ;
- Construction d'un grillage métallique solide séparant la centrale actuelle et la zone du chantier et ce, afin d'éviter tout rapprochement des engins du chantier et des ouvriers des installations actuelles de la centrale (salle des machines, chaudière, transformateurs, câblage, lignes de hautes tensions, etc.) ;
- L'utilisation d'une deuxième entrée pour l'approvisionnement en les besoins du chantier (matériaux de construction, engins, camions…). L'accès par la porte principale sera strictement interdit ;
- Préparation des espaces aménagés pour le stockage de matériaux de construction (ciment, sable, gravier…) ;
- L'approvisionnement du chantier en matériaux de construction et engins sera au fur et à mesure de l'avancement des travaux ;
- procéder à l'arrosage continu du site de chantier pour éviter l'émission des poussières dans l'air ;
- L'entretien et la réparation des engins et des camions du chantier seront effectués en dehors du chantier, dans les espaces appropriés ;

- A la fin du chantier, la STEG procédera (par l'entremise de l'entreprise de travaux) à la remise en état du site par le dégagement (et mise en décharge appropriée) de tous les produits et restes de matériaux de construction ou de ferrailles sur le site.

6.3. MESURES DURANT LA PERIODE DE PRODUCTION

6.3.1. Mesures relatives aux émissions atmosphériques

La STEG a conçu une cheminée dont les dimensions sont choisies en appliquant des modèles mathématiques bien adaptés.

Les dimensions de la cheminée (hauteur et diamètre) et la vitesse élevée de l'échappement vont permettre de :

- Favoriser la dispersion des polluants dans les hautes atmosphères ;
- Diminuer les retombées au sol des différents polluants émis tels que NO2, SO2, CO, CO2 et poussière ;
- Eloigner les retombées de la proximité immédiate de l'usine vers des zones plus éloignées. Les molécules de polluant ainsi dispersées subissent au contact de l'oxygène de l'air des changements dans leur composition chimique, ce qui constitue une autoépuration naturelle avant que les polluants résiduels atteignent le sol.

Nous pouvons confirmer, dans le cadre de cette étude, que les dégagements atmosphériques de cette nouvelle extension de la centrale à cycle combiné ne présentent aucune menace ni sur la santé, ni sur l'environnement et qu'ils ne dépassent pas les normes Tunisiennes et internationales. Nous ajoutons que cette étude inclut les cas extrêmes les plus défavorables de fonctionnement pour faire les estimations les plus précises pour une installation favorable et conforme aux normes.

En outre, nous proposons d'installer des équipements de mesure à la source et d'enregistrement en temps réel, tels que l'Opacimètre et la Sonde Triboélectrique, et effectuer des inspections de contrôle et d'étalonnage périodiques au moins 2 fois par an.

6.3.2. Mesures relatives aux émissions liquides

6.3.2.1. Rejet des eaux de chaudières et des installations annexes

L'alimentation des chaudières de la nouvelle centrale électrique est assurée par les eaux provenant de la station de dessalement des eaux de mer. Ces eaux subissent un premier traitement à travers une station d'osmose inverse, puis un deuxième traitement au niveau de la station de déminéralisation.

Les effluents provenant des postes de traitement de l'eau (déminéralisation) et les effluents des lessivages chimiques auxquels sont soumises les chaudières sont traitées dans une fosse de neutralisation. Cette dernière est construite en béton recouvert d'un revêtement protecteur (résine, matière plastique, etc.) spécialement adapté aux produits à traiter et dont la capacité est égale au triple de la contenance des circuits d'une chaudière soumise aux lavages périodiques.

La fosse de neutralisation est compartimentée :

- une première partie reçoit les effluents au moyen de tuyauteries spécialement prévues pour résister aux produits corrosifs véhiculés.
- une deuxième partie où s'effectuent la décantation des dépôts solides et la circulation de nouveau du liquide ainsi que l'injection de soude s'il y a lieu.

Le liquide décanté est éventuellement traité par la soude et se déverse dans la deuxième partie où il est brassé à l'air comprimé auquel l'acide est additionné de manière à obtenir le pH désiré.

Après contrôle du pH, une motopompe immergée évacue à l'égout les effluents dûment neutralisés en respectant les normes tunisiennes en vigueur et en particulier la norme NT 106 002.

Le contrôle de la qualité chimique des rejets sera effectué automatiquement ou manuellement. Le contrôle automatique sera assuré par des automates installés dans une salle dénommée « Salle d'échantillonnage ». Le contrôle manuel sera effectué par des meures périodiques des paramètres chimiques des rejets.

6.3.2.2. Rejet des eaux pluviales

Pour la nouvelle centrale, il est prévu l'implantation d'un réseau de drainage adéquat permettant de drainer les eaux pluviale.

6.3.2.3. Rejet des eaux sanitaires et domestiques

Les eaux provenant des toilettes, des douches et des cuisines seront collectées dans des fosses septiques et seront ensuite transportées par des camions-citernes vers les stations ONAS.

6.3.3. Mesures relatives aux déchets solides

La gestion des déchets de la nouvelle centrale projetée sera effectuée sans causer un danger quelconque sur la santé de l'homme, sans utiliser des modes ou des procédés pouvant nuire à l'environnement et notamment l'eau, l'air, le sol et les espèces de faune et de flore, sans

provoquer des incommodités par le bruit ou les odeurs ou autres ou sans porter atteinte aux paysages naturels et urbains.

Selon les dispositions de la loi n° 96-41 relatives aux déchets et au contrôle de leur gestion et de leur élimination, les déchets sont classés selon leurs origines en déchets ménagers et déchets industriels et selon leurs caractéristiques en déchets dangereux, déchets non dangereux et déchets inertes. La liste des déchets dangereux est fixée par le Décret n° 2000-2339 du 10 Octobre 2000. Quant aux décharges, elles sont classées selon les types de déchets en trois catégories :

- Les décharges des déchets dangereux ;
- Les décharges des déchets ménagers et des déchets non dangereux ;
- Les décharges des déchets inertes.

Le plan de gestion de la STEG comportera un inventaire et un tri des déchets selon la classification réglementaire, ceci a pour objectif de :

- réduire le volume des déchets ;
- maîtriser et limiter autant que possible la production de déchets dangereux ;
- éviter la contamination des ressources en eau en respectant le Code des eaux et les normes de rejet et en particulier la norme NT 106.03 relative à la réutilisation des eaux épurées dans l'irrigation ;
- assurer la séparation des déchets recyclables et des déchets ultimes de manière à favoriser la valorisation des déchets ;
- répertorier tous les déchets transportés sur un registre qui sera mis à la disposition des autorités compétentes, ce registre comporte la liste des déchets et les informations relatives à leur disposition ;
- mettre en place des procédures pour éviter les déversements des produits chimiques, des hydrocarbures et des lubrifiants ;
- informer les autorités concernées de tout risque présentant un danger potentiel sur l'environnement ainsi que les moyens de contrôle mis en place.

6.3.4. Mesures relatives aux opérations de dragage

L'identification de la nécessité de l'opération de dragage se fait après la détection des problèmes au niveau de l'aspiration des eaux de mer. Après l'identification du besoin, une campagne de levé bathymétrique sera réalisée par une société spécialisée dans le domaine.

Une fois que les résultats du levé montrent une diminution du niveau de la profondeur du bassin d'aspiration à cause de l'accumulation des sédiments, une étude d'impact de cette opération sera lancée. Au cours de cette étude, s'effectuera l'identification de la quantité et de la qualité des sédiments qui seront prélevés, ainsi l'identification des sites potentiels de décharge des sédiments prélevés.

Les sédiments dragués sont analysés et classés (selon la nature, diamètre et leur état : pollué ou non). Les sédiments non affectés sont déposés pour enrichissement de la plage.

Les opérations de dragage se réalisent à travers une entreprise spécialisée dans le domaine des travaux martines.

6.3.5. Mesures relatives aux émissions sonores et vibrations

6.3.5.1. Les mesures relatives aux émissions sonores

Les principaux équipements qui constituent une source d'émissions sonores (la turbine à gaz ; turboalternateur, l'ensemble des machines tournantes) seront conçus de façon à réduire au minimum les bruits de toute nature grâce à des formes étudiées et des dispositifs appropriés.

En effet ces équipements seront munis de dispositifs de protection silencieux étanches, permettant la protection des opérateurs contre toute nuisance sonore.

Dans tous les cas, ces agents STEG travaillant sur site sont tenus de respecter des consignes très strictes adoptées par la STEG pour les protéger contre des expositions prolongées à des intensités supérieures à 85 dB. Le service de sécurité dispose du matériel de protection individuelle (bouchons d'oreilles...) afin de pouvoir opérer dans des conditions de sécurité.

Pour un meilleur suivi des émissions sonores et de leurs impacts sur l'entourage de la zone du projet, nous proposons de procéder à des mesures périodiques des émissions acoustiques. Ces mesures seront faites deux fois par an et devraient être effectuées par un bureau de contrôle agréé par l'ANPE et dont le matériel devrait être étalonné.

6.3.5.2. Les mesures relatives aux émissions de vibration

Les différentes mesures de vibration qui ont été effectuées pour les équipements identiques à celle de la nouvelle centrale montrent qu'elles ne dépassent pas, en aucun régime, les valeurs

limites des normes ISO 10816 et ISO 7919. Egalement, ces mesures devront être faites moyennant un matériel étalonné, deux fois par an, par un bureau de contrôle agréé par l'ANPE.

6.3.6. Mesures prévues pour le choix du combustible

Pour la nouvelle extension de la centrale de Rades C, la STEG prévoit l'utilisation du gaz naturel comme combustible principal et le gas-oil comme combustible de secours. Ce choix est basé sur des raisons économiques et en particulier environnemental vu que l'utilisation du gaz naturel favorise essentiellement la réduction des émissions atmosphériques ;

Pour plus d'assurance en ce qui concerne le choix du combustible, nous proposons d'effectuer des opérations de contrôle de la qualité des gaz et des gas-oils qui alimenteront la centrale. Ces opérations seront réalisées à travers des séances d'échantillonnage au hasard et des mesures des caractéristiques limites des combustibles. Ces mesures devront être réalisées dans des laboratoires normalisés de la STEG.

6.3.6.1. Circuit Gaz Naturel

Pour le circuit gaz, le poste de détente joue un rôle vital au niveau de la sécurité du circuit d'exploitation vu qu'il constitue le point d'entrée, de traitement et de refoulement du gaz naturel provenant du gazoduc.

Le poste de détente nécessitera une attention particulière et un contrôle périodique (inspection des détecteurs et des alarmes de sécurité).

Le poste doit être contrôlé d'une façon périodique afin de détecter au moment opportun toute anomalie.

6.3.6.2. Circuit Gas-oil

Le circuit de gas-oil, qui est constitué par le réservoir de stockage et un circuit d'alimentation de la turbine, nécessite une manutention très particulière afin d'éviter tout disfonctionnement imprévu.

La protection du circuit de gas-oil contre les incendies est assurée par :

- Un réseau d'eau équipé de bouches d'incendie placées au voisinage de l'air de stockage du gas-oil ;
- Une cuvette de rétention autour du réservoir ;
- Un système de refroidissement des robes du réservoir ;

- Un système de déversement de la mousse physique à l'intérieur du réservoir et à l'intérieur de la cuvette de rétention.

L'instrumentation de sécurité et d'incendie doit être inspectée périodiquement afin de détecter tous les risques d'incendie ou de fuite. Ainsi un test d'étanchéité annuel devrait être effectué pour les équipements.

De cette façon, l'utilisation du gas-oil comme combustible respectera les normes de sécurité et n'aura aucun effet sur l'environnement.

6.3.6.3. Les consommables (les huiles, les produits chimiques…)

Les produits chimiques utilisés doivent être stockés d'une manière adéquate avant usage. Les emballages doivent être marqués d'une manière lisible lors de l'entreposage, et l'usage décrit les risques en cas d'exposition d'un opérateur au produit. Les fuites de produits chimiques doivent être répertoriées en détails, quantitativement et qualitativement.

6.3.6.4. Les équipements

A fin d'assurer un fonctionnement en toute sécurité et la performance de l'équipement de la nouvelle centrale, un programme de contrôle de longue durée sera prévu selon le principe suivant :

- Un arrêt d'une semaine chaque année pour inspecter la chaudière, ses auxiliaires, la station de pompage etc. ;
- Un arrêt de cinq semaines tous les 3 ans pour inspecter la chaudière, les ventilateurs, les groupes turbine à gaz et turbine à vapeur ;
- Un arrêt de 9 semaines tous les six ans pour inspection générale.

Pour les équipements de sécurité, vu leur importance et leur rôle vital au sein de l'unité, un plan de vérification, d'essais et d'entretien systématique se fait pour assurer la continuité de fonctionnement de ces équipements. Ce plan comprend :

- Des visites systématiques ;
- Des contrôles et des essais périodiques (journalier et hebdomadaire).

6.3.7. Mesures prévues pour la sécurité de la centrale

Pour assurer la protection et la sécurité des équipements, la STEG a déjà prévu un système de protection contre les incendies. Ce système comprend quatre types de protection :

- Protection par CO2 ;
- Extincteurs portatifs et mobiles ;

- Protection par l'eau ;
- Protection par mousse.

En plus de ces mesures de sécurité, nous proposons de mettre à disposition des dispositifs d'alertes d'incendie et des balisages de dégagement et d'évacuation.

6.3.8. Mesures Socio-économiques

Sur le plan socio-économique, la réalisation de ce projet s'inscrit dans la stratégie nationale de production de l'énergie électrique afin de satisfaire les besoins continus de ce produit stratégique.

Le choix du site actuel (la centrale de Rades A et B déjà existante) représente une bonne opportunité pour l'économie nationale en matière de réduction du coût du projet ainsi que sur le plan environnemental.

En effet le choix du site particulier de la centrale existante (la centrale projetée constitue une extension de celle actuellement en fonctionnement) permet de bénéficier des avantages relatifs à l'exploitation et à la valorisation du site (disponibilité de terrain approprié à l'implantation de la nouvelle centrale,…) et des équipements et infrastructures de la centrale existante (existence de réseaux, possibilités de raccordements, …). Ces avantages sont de nature à optimiser les investissements à consentir.

De plus, la proximité du site actuel de la mer constitue un avantage de plus que l'eau de mer est une source vitale pour la centrale électrique pour le refroidissement des équipements.

CHAPITRE 7. PREPARATION D'UN PLAN DETAILLE DE GESTION ENVIRONNEMENTALE (PGE)

7.1. PREPARATION D'UN PLAN DETAILLE DE GESTION ENVIRONNEMENTALE (PGE)

7.1.1. Objectifs

La mise en œuvre d'un plan de gestion environnementale (PGE) conformément au décret de 2005 des EIE consiste à déterminer les détails sur les initiatives de gestion à appliquer durant les différentes phases du chantier.

Le PGE tient compte du suivi des paramètres de l'environnement et de l'influence des mesures d'atténuation sur les impacts sur l'environnement. En effet, Il comprend les trois éléments de base suivants:

- Un Plan d'atténuation des nuisances ;
- Un Programme de Suivie environnementale ;
- Un programme de renforcement institutionnel, de formation et de sensibilisation ;

Par ailleurs, les objectifs généraux recherchés dans l'élaboration du plan de gestion environnementale peuvent être résumés comme suit :

- Veiller à la conformité avec la législation et la réglementation en matière d'environnement ;
- S'assurer de la validité des mesures de la prévention des atteintes à l'environnement ;
- Le respect des exigences environnementales du milieu humain ;
- L'intégration des concepts environnementaux dans la gestion courante des opérations ;
- L'aide à la sensibilisation des employés à la gestion de l'environnement et faciliter leur implication ;
- L'amélioration de la performance environnementale ;
- La connaissance, le contrôle et la réduction des coûts de gestion de l'environnement.

7.1.2. Plan de Gestion Environnemental

Le Plan de Gestion Environnementale comprendra les éléments suivants :

- Les mesures de protections de l'environnement décrites dans l'ensemble de l'étude,
- Le programme de suivi des mesures de protection,
- Les responsables d'exécution des mesures au cours des différentes phases du projet,
- Les responsables de suivi et de contrôle de l'exécution des mesures de protection,

- Programme détaillé de suivi environnemental,
- Estimation des coûts du programme de protection environnementale.

Le tableau ci-dessous, récapitule les différentes actions qui seront menées par la STEG pour garantir une bonne gestion environnementale et l'application dudit Plan de Gestion Environnementale.

Tableau 25 : PGE en phase de construction

Composante	*Impacts négatifs potentiels*	*Mesures d'atténuation*	*Responsable chargé de l'opération*	*Fréquence*	*Coût*
Emissions sonores	Altération de la qualité de vie au voisinage et pour le personnel sur chantier	-Organisation du chantier ; -Choix et entretien du matériel.	La STEG et le constructeur	Inspections régulières des équipements.	6000 DT/ Chantier
Emissions de poussières	Altération du voisinage du site et problèmes respiratoires du personnel.	- Travail à l'intérieur du site ; - L'arrosage continu des matériaux de construction secs et l'utilisation des bâches et d'écran ; - L'utilisation des bâches de protection lors du transport des matériaux ; - Aménagement d'espaces pour le stockage des matériaux de construction ; - Utilisation d'une porte indépendante.	La STEG et le constructeur	En continu	7 000 DT/ Chantier
Sécurité	- Risque d'accidents de travail ; Endommagement des équipements existants.	- Construction d'un grillage de protection ; - Utilisation d'une porte indépendante ; - Le constructeur doit prévoir suffisamment de moyens et de personnes qualifiées pour gérer convenablement les travaux et les interventions d'urgence.	Le constructeur	Inspection continue du chantier par les responsables de sécurité.	8500 DT/ Chantier

Tableau 26 : PGE en phase exploitation

Composante	*Impacts négatifs potentiels*	*Mesures d'atténuation*	*Responsable chargé de l'opération*	*Fréquence*	*Coût*
Emissions sonores	Altération de la qualité de vie au voisinage et pour le personnel.	Mesures périodiques des émissions sonores.	La STEG	En continu, dès l'étude d'acquisition des équipements et leur installation. .	12 000 DT/an
Emission de vibrations	Altération de la qualité de vie au voisinage et pour le personnel	Mesures périodiques des émissions de vibrations.	La STEG	En continu, dès l'étude d'acquisition des équipements et leur installation. .	12 000 DT/an
Emissions atmosphériques	Pollution de l'air	- Mesures périodiques de la qualité de l'air dans le voisinage.	La STEG	En continu, dès l'étude d'acquisition des équipements et leur installation.	12 000 DT/an

Gaz Naturel	-Fuite - Panne - Incendie	- Poste de détente ; - Détecteur de gaz ; - Extincteur sur site ; - Contrôle périodique.	La STEG	Inspection une fois par mois du système de protection.	7 000 DT
Gas-oil	-Fuite - Panne - Incendie	Un réseau d'eau d'incendie sur site ; - Une cuvette de rétention autour du réservoir ; - Un système de refroidissement des robes du réservoir ; - Un système de déversement de la mousse à l'intérieur du réservoir ; - Un système de déversement de la mousse à l'intérieur de la cuvette de rétention ; - Contrôle périodique.	La STEG	Inspection une fois par mois du système de protection.	7 000 DT
Huiles et produits chimiques	- Fuite - Incendie	- Stockage adéquat ; - Inspection périodique.	La STEG	En continu	5 000 DT
Circuit eau de mer	Rejets de l'opération de dragage	- Réalisation d'une étude d'impact	La STEG	En continu	30 000 DT/15 ans
	Augmentation de la température des eaux de mer	-Contrôle de la qualité des eaux rejetées ; - Contrôle de la température des eaux de refroidissement.			2 350 000 DT
	Développement des espèces invasives	- Suivi de près des accumulations.			
Les équipements de sécurité	Panne	- Contrôles et essais périodiques.	La STEG	4 fois par an	5 000 DT

Rejet liquide de la déminéralisation et de la chaudière	- Fuite de produit chimique - Fuite de lessivage - Rejet liquide en mer	- Construction de fosse de neutralisation ; - Contrôle continu de la qualité chimique des rejets ; - Inspection continue de la station.	La STEG	Inspection une fois par semaine.	100 000 DT
Equipements/ Installations de stockage	Sécurité des travailleurs/ Equipements	- Protection par CO2 ; - Extincteurs portatifs et mobiles ; - Protection par eau ; - Protection par mousse ; - Dispositifs d'alertes d'incendie ; - Balisages de dégagements et d'évacuation ; - Contrôle du système de protection.	La STEG	Une fois par an	Equipements/ Installations de stockage
Déchets solides	Accumulation des déchets	- Collecte continue dans des parcs appropriés ; - Contrôle continu des rejets.	La STEG	En continu	10 000 DT
Eaux sanitaires	Risque de contamination de la nappe	- construction des fosses septiques étanches ; - Transport par des camions vers les stations de traitement.	La STEG	En continu	30 000 DT
Paysage	Modification du paysage du site	- Plantation d'arbres et d'arbustes ; - Désherbage continu ; - Utilisation des couleurs écologiques de peinture.	La STEG	En continu	Paysage

7.2. PROGRAMME DE SUIVI ENVIRONNEMENTAL

Afin de permettre à la bonne exploitation et la durabilité du projet, la STEG envisagera de mettre en place un programme de suivi, dont son contenu est mentionné ci-après :

- La désignation et la formation d'une équipe (avec responsable) qualité et environnement;
- La détention d'un manuel de formation relative à la protection de l'environnement (gestion des déchets solides, huiles usagées, pollution atmosphériques, eaux usées sanitaires, etc.) ;
- Le contrôle périodique de tous les équipements de la centrale;
- La connexion de la centrale au réseau de qualité de l'air avec l'ANPE et vérification de cette connexion fréquemment ;
- L'arrêt de tout le système de l'usine si nécessaire en cas de détection d'un polluant qui dépasse le seuil admissible ;
- Le contrôle périodique de l'étanchéité des ouvrages, des conduites et l'intervention en cas de nécessité ;
- Enregistrement de toutes les interventions de contrôle et de réparation et élaboration d'un rapport mensuel.

7.2.1. Les objectifs généraux

Malgré toutes les précautions, certains paramètres ne peuvent être totalement maîtrisés au niveau de la conception du projet. En ce sens, la mise en œuvre du Plan de Suivi Environnementale sera fondamentale pour assurer le contrôle et la veille de la fiabilité de fonctionnement des composantes du projet.

7.2.2. Contexte particulier

Le programme de suivi et monitoring a pour objectif de pouvoir suivre l'évolution du site ainsi que de son impact environnemental après installation de la nouvelle centrale à cycle combiné, en vue de la mise en œuvre éventuelle de travaux complémentaires ou de mesures compensatoires.

Ce programme de suivi devra être établi sur dix ans. La décision concernant la suite à donner pour le suivi et le monitoring, l'intégration du site dans son milieu naturel ou l'utilisation à des fins d'investissement, devra faire l'objet d'une expertise.

7.3. LE RENFORCEMENT DES CAPACITES

Les objectifs de cette tâche sont de proposer les mesures pour renforcer les institutions nationales et locales pour que le plan d'atténuation et le programme de contrôle et de suivi puissent être supervisés et appliqués.

Cette action qui doit précéder et accompagner le projet dans sa phase construction. Elle se traduira par la mise en place d'une mission d'assistance technique externe pour la durée du projet. En effet, elle sera axée sur :

- Renforcement des capacités de la STEG dans le suivi de la mise en œuvre du PGE
- Renforcement des capacités techniques des ouvriers
- Renforcement des capacités techniques des communes.
- Sensibilisation de la population

Les points qui seront développées par la mission d'appui intéressent les thèmes suivants :

- Définition d'un programme de gestion des risques encourus et notamment ceux pouvant intervenir dans les phases de mise en place et exploitation;
- Mise en œuvre un programme de sensibilisation pour la mise en œuvre du PGE
- Mise en œuvre un programme de sensibilisation pour l'amélioration de la rentabilité du projet ;
- Formations sur les lois et réglementations en matière de protection de l'environnement
- Gestion des itinéraires et des tournées.

7.4. CONSULTATION DU PUBLIC

7.4.1. Structure administrative de la Tunisie

Le territoire tunisien est divisé en gouvernorats (l'équivalent du département).

Chaque gouvernorat est dirigé par un gouverneur (préfet) qui représente le chef de l'Etat au plan régional. Il a sous son autorité, les délégués (sous-préfets). Ces derniers sont à la tête de délégations (sous-préfectures).

Actuellement, la Tunisie est subdivisée en :

* 24 Gouvernorats et conseils régionaux de développement
* 262 Délégations et conseils locaux de développement

* 2056 Imadas (cantons)
* 182 Conseils ruraux de développement
* 5677 Comités de quartier
* 260 Municipalités

7.4.2. Organisation de la consultation publique

L'objectif d'une EIE est de déterminer et de décrire les incidences des projets sur l'environnement, et d'évaluer s'il convient de prendre des mesures de prévention ou d'atténuation. Pendant la procédure d'EIE, le public peut apporter sa contribution et faire part de ses préoccupations environnementales en ce qui concerne le projet. Les résultats de cette consultation doivent être pris en considération lors de la procédure d'autorisation.

La période de consultation offre au public l'occasion de présenter ses opinions à la Commission de la STEG afin de déterminer si l'EIE et la réalisation du projet satisferont à toutes les exigences identifiées dans les lignes directrices.

Dans le cadre général d'une étude d'impact sur l'environnement, et une fois le projet et l'EIE jugés recevables, le maître d'ouvrage organise une consultation publique au lieu d'implantation du projet. Généralement cette consultation se déroule en trois parties :

- Une première partie consacrée à l'exposé du contenu du projet, de l'état initial du site, des mesures d'atténuation des impacts et du contenu du Plan de Gestion Environnementale ;
- Une seconde partie pour les questions et réponses échangées entre les présents et les conférenciers ;
- Une troisième partie consacrée à la synthèse et aux conclusions de la journée de consultation du public.

Dans le cas de l'EIES de la nouvelle centrale électrique à cycle combiné de Rades C, 3 consultations publiques ont été organisée:

1/ Réunion Scoping:

En phase de démarrage de l'étude, une réunion scoping a été réalisée le 20/09/2013 à la Salle de la Municipalité de Mégrine Gouvernorat de Ben Arous

Cette réunion avait pour but:

- Consulter les avis du public cible (Administrations, Responsables, Population et riverains, etc…)

- Collecter les suggestions et les avis des citoyens de la ville de Rades en particulier
- Enrichir le contenu de l'étude d'impact environnemental et social objet du présent projet au vu des résultats les plus pertinents des discussions qui se sont articulé autour de cet objectif.

2/Consultation publique N°2

La deuxième consultation publique a été réalisée le 13/11/2013 à la Salle de la Municipalité de Mégrine Gouvernorat de Ben Arous

Une présentation des résultats de l'EIES a été effectuée par le bureau d'études avec une analyse approfondie de l'état actuel du golfe de Tunis et les résultats de l'étude cumulative (en prenant en considération les émissions et rejets des centrales existantes) des émissions atmosphériques et de la tache thermique en mer.

Le nombre des présents a été restreint malgré que le maitre d'ouvrage (STEG) a affichés des autocollants partout dans la ville de Rades et cité Mellaha pour informer les citoyens de la date de la consultation.

<table>
<tr>
<td> </td>
<td>
</td>
</tr>
<tr>
<td>
</td>
<td> </td>
</tr>
</table>

En fin de la réunion, les parties prenantes présentes ont recommandé d'organiser une troisième consultation publique du projet pour assurer une participation élargie de tous les organismes et des citoyens concernés. De plus, ils ont demandé d'inviter des représentants du Ministère de la Santé publique, du Ministère des affaires sociales et de la présence des médias.

2/Consultation publique N°3

La troisième consultation publique a été réalisée le 27/11/2013 au siège de la Municipalité de Rades Gouvernorat de Ben Arous

Après présentation des résultats des simulations des émissions atmosphériques de la propagation de tache thermique en mer. Le débat a été ouvert et plusieurs intervenants ont pris la paroles et ont posé des éclaircissements qui ont été clarifiés ensuite par le bureau d'études et par la STEG (voir les PVs).

Notons aussi la présence des médias à cette consultation et qui ont demandés eux aussi des informations sur le projet.

CONCLUSION

Le présent projet est d'une importance capitale pour le développement régional. En effet, l'extension de la centrale électrique de Rades, s'inscrit dans le cadre du renforcement de la capacité de production d'électricité avec des technologies performantes.

Lors de l'exploitation proprement dite, une série de mesures préventives ont été préconisées afin de réduire les nuisances introduites que ce soit par les émissions atmosphériques ou par les rejets hydriques des eaux de refroidissement.

La réalisation des mesures préventives de protection de l'environnement, intégrées et en aval, permet la réalisation des travaux sans aucune nuisance ou danger susceptible de provoquer des conséquences dommageables directs et indirectes sur l'environement.

En effet, la mise en application du Plan de Gestion Environnementale s'inscrit dans le cadre de durabilité du projet aussi bien pour le respect de l'environnement que l'amélioration du cadre de vie.

En matière d'impact environnemental permanent, les installations n'apporteront pas de nuisances, en fonctionnement normal, en matière de pollution des eaux, de l'air, du bruit et des déchets et ce par le choix des procédés et des techniques de récupération et de traitement utilisés par les agents de maintenance de la STEG.

Les déchets générés par les activités sont constitués par les déchets industriels banals, ils sont collectés dans des bennes suivant un tri sélectif et régulièrement pris en charge par des sociétés de récupération et de traitement autorisés par l'ANGed.

Enfin, l'installation de ce type de projet au niveau de la zone concernée va dynamiser l'activité économique dans la région même et les différentes régions avoisinantes en permettant un approvisionnement régulier et permanent de l'énergie électrique nécessaire aux activités.

ANNEXES

Annexe1 :

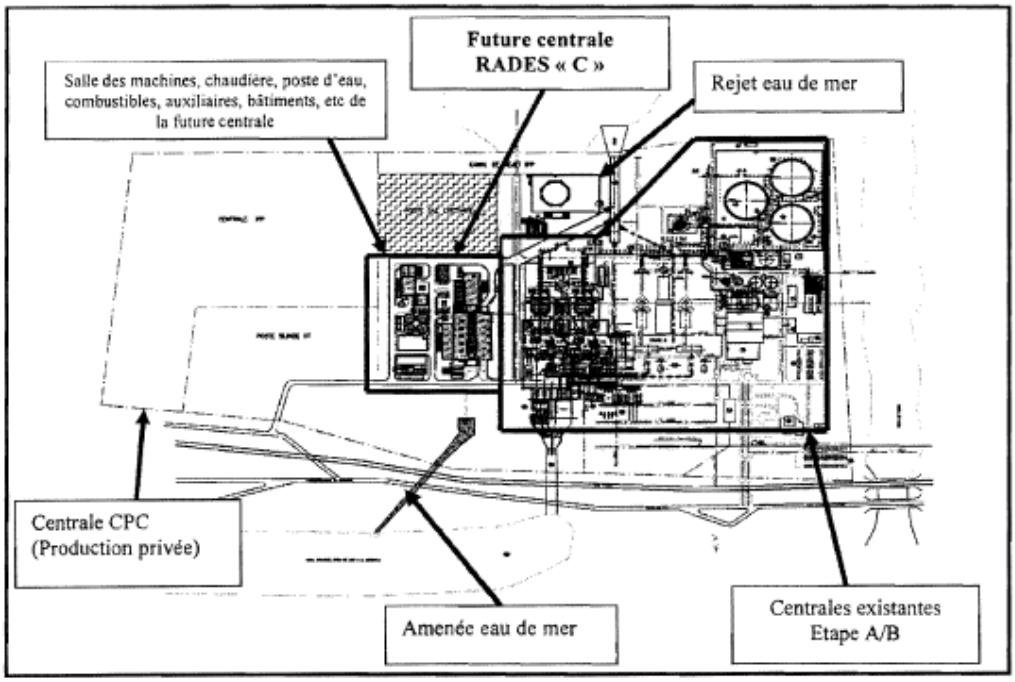
Amenée Eau de mer
Site réservé pour la future centrale : Rades C
Centrales existantes Etapes A/B
Centrale CPC (Production)
Rejet eau de mer des centrales étapes A/B
PLAN DE SITUATION DE LA CENTRALE A CYCLE COMBINE DE RADES

Annexe2 :

PLAN DE MASSE DE LA CENTRALE

A CYCLE COMBINE DE RADES « C »

PLAN DE MASSE



Annexe3 :

Selon la norme NT.04.49 (1990), le gas-oil a les caractéristiques limites suivantes :

Caractéristiques techniques	Valeurs limites	Méthodes d'analyse
- Distillation : volume de distillation (V/V) y compris les pertes.	* moins de 65% du produit à 250°C * 85 % et plus du produit à 350°C	NT 04.03 : ASTM D.86
- Masse volumique à 15°C	Comprise entre 0,81 et 0,89 kg/l	NT04.05 :ASTM D.1298
- Point d'éclair	Egal ou supérieur à 55°C et inférieur à 120°C	NT 04.64 ASTM D.93
- Point d'écoulement	* inférieur ou égal à moins 7°C du 15 octobre au 30 Avril * inférieur ou égal à moins 1°C du 1er Mai au 14 Octobre	NT 04.16 ASTM D.97
- Acidité minérale	nulle	NT 04.65 : ASTM D.974
- Viscosité à 20°C	Inférieure ou égale à 9 cst	NT 04.45 : ASTM D.445
- Teneur en soufre	Inférieure ou égale à 1% (massique)	NT 04.70 (référence) : ASTM D.2622 NT 04.71 : ASTM D. 1552
- Indice de cétane	Egal ou supérieur à 50	NT 04.72 ASTM D.976
- Teneur en sédiments	nulle	NT 04.11 : ASTM D.473
- Teneur en eau	Traces non dosables	NT 04.1 ASTM D.95
- Teneur en cendres	Traces non dosables	NT 04.25 : ASTM D.482
- Températures limite de filtrabilité	Egale ou inférieure à moins 3°C durant la période du 15 oct. Au 30 Avril.	NT 04.75 : ASTM-D.4539 (référence) NF M 07.042 IP 309
- Couleur	Inférieure ou égale à 5	NT 04.09 ASTM D.1500

Annexe 4:

PRÉSENTATION DU LOGICIEL ''*SMS*''DE LA SIMULATION DE LA TACHE THERMIQUE EN MER

OBJECTIFS DE LA MODÉLISATION

La modélisation hydrodynamique des systèmes lagunaires et côtiers est devenue, depuis le développement des méthodes de résolution numérique, très importante pour comprendre leur fonctionnement hydraulique. En effet, en fonction du degré de complexité du problème et de son objectif, la modélisation peut mettre à notre disposition des résultats qui peuvent aider à bien gérer ou bien aménager des écosystèmes aquatiques. D'autre part, les résultats des simulations de l'hydrodynamique peuvent être utiles pour d'autres modèles tels que les modèles de dispersion de pollution et les modèles écologiques

C'est dans cet objectif que se situe la modélisation hydrodynamique des milieux lagunaires et côtiers. En effet, elle nous permet, d'une part, de comprendre le fonctionnement hydrodynamique actuel du milieu, et, d'autre part, de simuler et comparer l'impact de quelques aménagements envisagés pour en proposer le meilleur scénario.

Dans le cadre des études de modélisation hydrodynamique des milieux peu profonds, le logiciel **SMS** (ou "**S***urface*-W*ater* **M***odeling* **S***ystem*"), peut être utilisé. C'est un modèle à 2 dimensions, intégré sur la hauteur d'eau, bien adapté aux milieux peu profonds et non stratifiés. Dans ce qui suit nous allons présenter ce logiciel, ses équations de base et ses différents modules.

PRESENTATION DU MODELE

Pour élaborer des études de modélisation hydrodynamique des milieux côtiers et lagunaires peu profonds, nous proposons d'utiliser le logiciel "***S**urface-Water **M**odeling **S**ystem*" (ou ***SMS***) qui est un modèle qui utilise la méthode des éléments finis pour la résolution des équations de l'écoulement et qui comprend, outre le module de calcul hydrodynamique, des modules pré-processeur pour le maillage et post-processeur pour l'analyse des résultats.

Les modules utiles de ce logiciel sont le module « ***GFGEN*** » qui est le module de maillage, qui permet d'introduire la géométrie et la bathymétrie du domaine d'étude et ensuite de créer et éditer le maillage du domaine, le module « ***RMA2*** » qui est le module de simulation de l'hydrodynamique à 2 dimensions et qui permet de résoudre les équations de l'écoulement, et le module « ***RMA4*** » qui est le module de simulation de la dispersion d'un polluant quelconque, ou d'une tache thermique, dans le milieu.

Equations de base du modèle hydrodynamique

Les modèles hydrodynamiques à 2 dimensions s'appuient sur les équations locales de bilans de masse et de quantité de mouvement intégrées sur la hauteur d'eau. Dans ces équations, l'hypothèse d'une répartition hydrostatique de la pression est adoptée.

Dans un repère orthogonal (O, x, y), les équations de base des modèles 2-D, intégrés sur la hauteur h, sont les suivantes (SMS, 2003) :

- *L'équation de bilan de masse :*

$$\frac{\partial h}{\partial t}+h\left(\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}\right)+u\frac{\partial h}{\partial x}+v\frac{\partial h}{\partial y}=m_0 \qquad \textbf{(1)}$$

- *L'équation de bilan de quantité de mouvement suivant Ox :*

$$h\frac{\partial u}{\partial t}+huu\frac{\partial u}{\partial x}+hv\frac{\partial u}{\partial y}-h\left[E_{xx}\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+E_{xy}\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right]+gh\left[\frac{\partial a}{\partial x}+\frac{\partial h}{\partial x}\right]+\frac{g\,u\,n^2}{h^{1/3}}\left(u^2+v^2\right)^{1/2} -\zeta\frac{\rho_a}{\rho}V_a^2\cos\varphi-2h\omega v\sin\phi=0 \qquad \textbf{(2)}$$

- *L'équation de bilan de quantité de mouvement suivant Oy :*

$$h\frac{\partial v}{\partial t}+huu\frac{\partial v}{\partial x}+hv\frac{\partial v}{\partial y}-h\left[E_{xx}\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+E_{xy}\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right]+gh\left[\frac{\partial a}{\partial y}+\frac{\partial h}{\partial y}\right]+\frac{g\,v\,n^2}{h^{1/3}}\left(u^2+v^2\right)^{1/2} -\zeta\frac{\rho_a}{\rho}V_a^2\sin\varphi+2h\omega u\sin\phi=0 \qquad \textbf{(3)}$$

Dans lesquelles :

h	: La hauteur d'eau ;
u et v	: Les vitesses, intégrées sur la hauteur, suivant les axes Ox et Oy respectivement ;
t	: Le temps ;
x, y	: Coordonnées cartésiennes ;
ρ	: La masse volumique de l'eau ;
ρ_a	: La masse volumique de l'air ;
m_o	: Echanges d'eau en surface (pluie, évaporation) ou au fond (infiltration) ;
E_{ij}	: Les coefficients de dispersion ;
g	: L'accélération de la pesanteur ;
a	: La cote du fond ;
n	: Le coefficient de rugosité du fond de Manning ;
ζ	: Le coefficient de cisaillement du vent ;
V_a	: La vitesse du vent ;
φ	: La direction du vent par rapport à l'axe Ox ;
ω	: La vitesse de rotation angulaire de la terre ;
ϕ	: La latitude du milieu.

Les équations (1) à (3) sont complétées par des conditions aux limites du domaine de calcul : flux nul (frontière imperméable), niveau d'eau imposé (exemple : la marée en mer), débit imposé (exemple : rejets d'eaux pluviales, rejets d'eaux usées, rejets d'une centrale électrique ou une usine, etc.).

Ces équations, où les inconnues sont u, v et h, n'admettent pas de solutions analytiques. Elles sont alors résolues numériquement, pour aboutir à un modèle numérique.

En principe, quand des données expérimentales de terrain sont disponibles, la valeur de quelques paramètres (E_{ij} ; n ou C_h et ζ) devrait être déterminée par calage du modèle sur ces mesures *in-situ* (ajustement des valeurs de ces paramètres jusqu'à l'obtention, avec le modèle, des données expérimentales de terrain).

Structure de *SMS*

Le logiciel *SMS* (version 8.0 ou 8.1) est un modèle numérique de simulation incluant des modules de **pré**-**processeur**, pour le maillage, et **post**-**processeur**, pour l'analyse des résultats. Il est adapté à des milieux de grandes superficies et de géométrie très complexe mais peu profonds. Il admet un nombre de mailles presque illimité (jusqu'à des centaines de milliers d'éléments).

Des interfaces sont spécifiquement conçues pour faciliter l'utilisation de plusieurs modèles numériques intégrés dans *SMS*. Chaque modèle numérique est conçu pour résoudre une classe spécifique de problèmes (SMS, 2003) :

- Calculer les caractéristiques hydrodynamiques, telles que les élévations de la surface de l'eau et les vitesses du courant ;
- Traiter la migration des concentrations en polluants, de sédiments en suspension, ou d'une tache thermique ;
- Traiter l'état stable et l'analyse dynamique ;
- Traiter les courants supercritiques et sub-critiques.

Chaque modèle numérique crée des dossiers de la solution qui contiennent les différents résultats des calculs, à chaque nœud, cellule ou section.

En dehors de sa convivialité, puisqu'il fonctionne sous *Windows*, le logiciel *SMS* permet :

- De lire les résultats des modèles et créer des représentations graphiques (des lignes d'iso-valeurs, des champs de vitesses) et même des animations (évolution temporelle des vitesses ou des concentrations) ;
- D'être utilisé comme un pré ou post-processeur pour d'autres codes de calcul tant que ces programmes peuvent lire et/ou écrire des dossiers dans un format compatible avec SMS.

L'interface "*Fast TABS*" permet la communication rapide, en interactif, avec l'utilisateur : introduction des données, lecture et visualisation des résultats.

La structure générale du logiciel SMS est schématisée sur la figure ci dessous. Cette figure illustre aussi le schéma de fonctionnement du logiciel. Les modules nécessaires sont encadrés par des traits épais, les autres modules sont facultatifs.

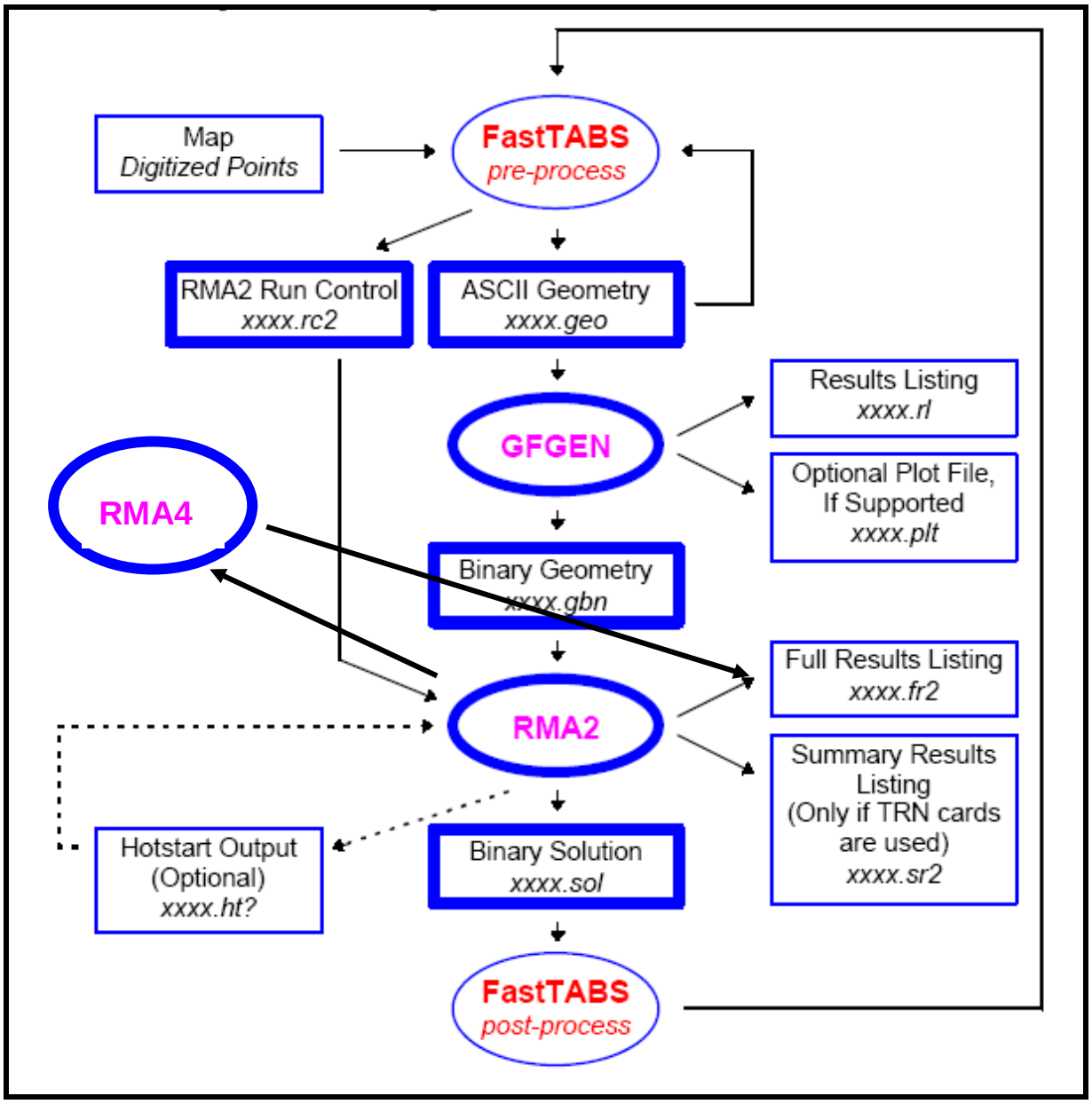


Figure: Schéma de fonctionnement du logiciel SMS (SMS, 2003)

Le logiciel *SMS* comporte plusieurs modules parmi lesquels nous allons utiliser :

- Le module *GFGEN* : C'est le module de maillage, qui contient des outils pour créer et éditer le maillage du domaine ;
- Le module *RMA2* : C'est la module de modélisation hydrodynamique à 2 dimensions, qui permet de résoudre les équations de l'écoulement.
- Le module *RMA4* : C'est la module de simulation de la dispersion de polluants ou d'une tache thermique, qui permet de résoudre l'équation de transport d'un polluant quelconque couplée au modèle hydrodynamique.

Le module *GFGEN*

Le module *GFGEN* (ou "*Geometry File GENeration*") a pour rôle de générer le maillage en éléments finis du domaine. Ce module peut générer soit un maillage triangulaire quadratique à 6 nœuds, soit un maillage rectangulaire à 8 nœuds.

Il génère ensuite des fichiers de définition de la géométrie du maillage. Ces fichiers seront utilisés comme entrée aux autres programmes de calcul (*RMA2*). Il exécute aussi des diagnostics habituels du maillage et permet de le corriger, le modifier ou l'améliorer.

Ainsi, le module *GFGEN* permet de (SMS, 2003) :

- Définir les nœuds (numéros et coordonnées) et les éléments (numéros et les nœuds correspondants), et construire le maillage ;
- Identifier des erreurs potentielles dans le maillage définit ;
- Re-numéroter le maillage, en omettant les nœuds et/ou les éléments non utilisés ;
- Créer un fichier de données binaires, qui contient toutes les informations qui concernent le maillage et la géométrie, dans un format convenable pour permettre son utilisation par les autres modules de simulation.

Le module *RMA2*

Le module *RMA2* est un modèle hydrodynamique numérique bidimensionnel (sur le plan horizontal définit par O, x, y). *RMA2* résout numériquement les équations de bilans de masse et de quantité de mouvement intégrées sur la hauteur d'eau. Il s'agit des équations (1), (2) et (3).

Ces équations, où les inconnues sont u, v et h, sont résolues numériquement par la méthode des éléments finis. Les dérivées temporelles sont remplacées par des approximations aux différences finies non linéaires. Pour chaque pas de temps, on suppose que les variables varient sous la forme :

$$f(t) = f(0) + a\ t + b\ t^c \qquad t_0 \le t \le t_0 + \Delta t$$ où a, b et c sont des constantes.

La solution est totalement implicite et les équations non linéaires de l'écoulement sont résolues simultanément par la méthode itérative de Newton-Raphson.

Il est donc conçu pour traiter les problèmes d'écoulements où les accélérations verticales sont négligeables (milieux peu profonds) et les vecteurs vitesses se pointent dans la même direction sur toute la hauteur de la colonne d'eau à tout instant (pas de stratification dynamique).

Le frottement au fond est exprimé en fonction du coefficient de Manning (ou de Chézy), qui schématise la rugosité du fond, et la turbulence et la dispersion sont exprimées à travers des coefficients de dispersion (E_{ij}). Les problèmes d'écoulements permanents (stables) ou transitoires (instables ou dynamiques) peuvent être résolus.

Ainsi, en utilisant les conditions aux limites, *RMA2* calcule, en chaque nœud du maillage et à chaque pas de temps, les valeurs numériques des deux composantes des vitesses horizontales (u et v) ainsi que la hauteur d'eau (h).

Le module RMA2 permet de (SMS, 2003) :

- Introduire et modifier les paramètres de calcul : coefficient de Manning ou Chézy, coefficients de dispersion, la vitesse de vent, conditions aux limites ouvertes du domaine, précision des calculs, nombre d'itérations de calcul, pas de temps en transitoire, les paramètres d'assèchement ou de remise en eau, etc. ;
- Identifier des erreurs éventuelles dans le réseau de maillage ;

- Calculer u, v et h en chaque nœud ;
- Calculer le courant à travers une ligne de contrôle (communication avec la mer) ;
- Tenir compte de l'effet du vent (ou du frottement généré par le vent) à la surface de l'eau et des tempêtes ;
- Simuler les événements humides et secs des marais (assèchement ou mise en eau de quelques zones).

Le module *RMA4*

Le module *RMA4* permet de calculer l'évolution spatio-temporelle des concentrations en polluants, ou des sédiments en suspension, ou de la tache thermique. C'est aussi un modèle bi-dimensionnel, où les concentrations sont moyennées sur la hauteur d'eau.

Pour le calcul des valeurs numériques des concentrations en chaque nœud du maillage, le module *RMA4* utilise les résultats du modèle hydrodynamique (résultats de *RMA2*) car il utilise les vitesses (u, v et h) calculées par ce dernier au niveau des nœuds et des éléments du maillage pour simuler la dispersion du polluant ou de la tache thermique dans le milieu considéré.

Il s'agit donc d'une résolution numérique de l'équation de transport d'un constituant quelconque couplée aux équations de l'hydrodynamique (1) à (3). Cette équation est la suivante :

$$\frac{\partial(hT)}{\partial t}+\frac{\partial(huT)}{\partial x}+\frac{\partial(hvT)}{\partial y}=hD\left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\right]-h\,\Phi_T \qquad \textbf{(4)}$$

Dans laquelle :

T : La concentration en polluant, ou l'échauffement, moyennée sur la hauteur d'eau ;

D : Le coefficient de dispersion du polluant ;

Φ_T : Le taux de disparition du polluant, ou de refroidissement, dans le milieu ;

h : La hauteur d'eau ;

u et v : Les vitesses, intégrées sur la hauteur, suivant les axes Ox et Oy respectivement.

ÉTAPES D'UTILISATION DU LOGICIEL

L'utilisation du logiciel ***SMS*** pour l'étude de l'hydrodynamique d'un milieu aquatique quelconque se fait en deux étapes : La construction du modèle ; Les simulations.

La construction d'un modèle

Dans cette phase, il s'agit d'introduire la géométrie du milieu, de discrétiser de l'espace (maillage du domaine), d'introduire la bathymétrie et de localiser les conditions aux limites (les frontières fermées, les différents rejets, les lieux des échanges, les communications avec la mer, etc.).

L'introduction de la géométrie à l'échelle réelle et de la bathymétrie du milieu peut se faire de plusieurs manières :

- Sur l'écran, point par point sur la fenêtre de SMS ;
- En important la carte établie par AutoCAD (fichier *.dxf) ;
- En important une image scannée de la carte (fichier *.JPEG) ;
- En important un fichier texte de bathymétrie sous format (x, y, z). L'avantage de ce fichier est l'introduction simultanée des coordonnées (x, y) et de la bathymétrie (z) issue par exemple d'un récent levé bathymétrique dans le milieu ;
- Etc.

Les simulations

Une fois le modèle construit, la deuxième étape consiste à simuler et analyser le fonctionnement hydrodynamique du milieu. On peut ainsi faire le diagnostic de la situation actuelle, et ensuite utiliser le modèle pour la simulation de différents scénarios d'intervention ou d'aménagement. L'analyse des résultats de ces simulations peut alors nous orienter vers le choix du meilleur scénario d'aménagement.

Pour réaliser une simulation, l'introduction de quelques données est nécessaire :

- Caractéristiques des éléments (coefficients de Chézy et de Dispersion) ;
- Les conditions aux limites (débits imposés, niveaux imposés, etc.) ;
- Durée de la simulation, pas de temps, précision des calculs, calcul en transitoire ou en permanent ;
- Niveau initial de la surface libre, vent, température, Coriolis, etc.

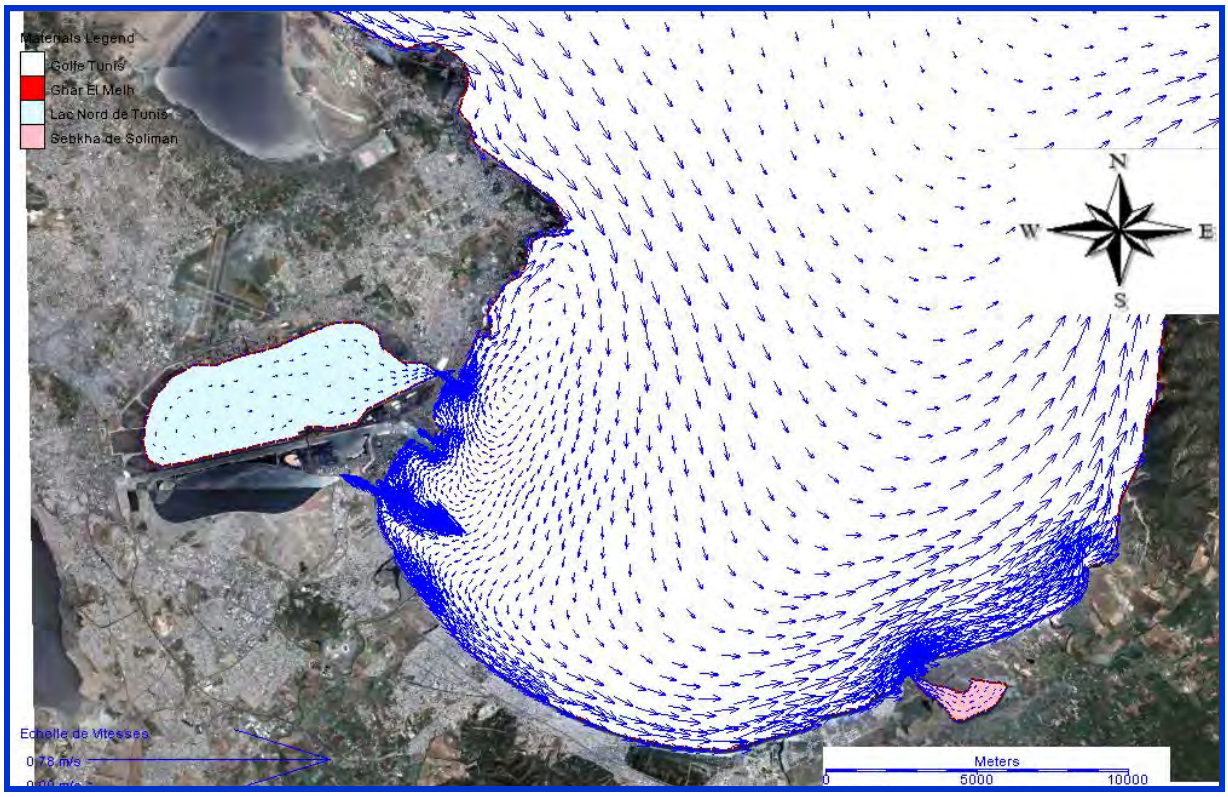
Annexe 5:

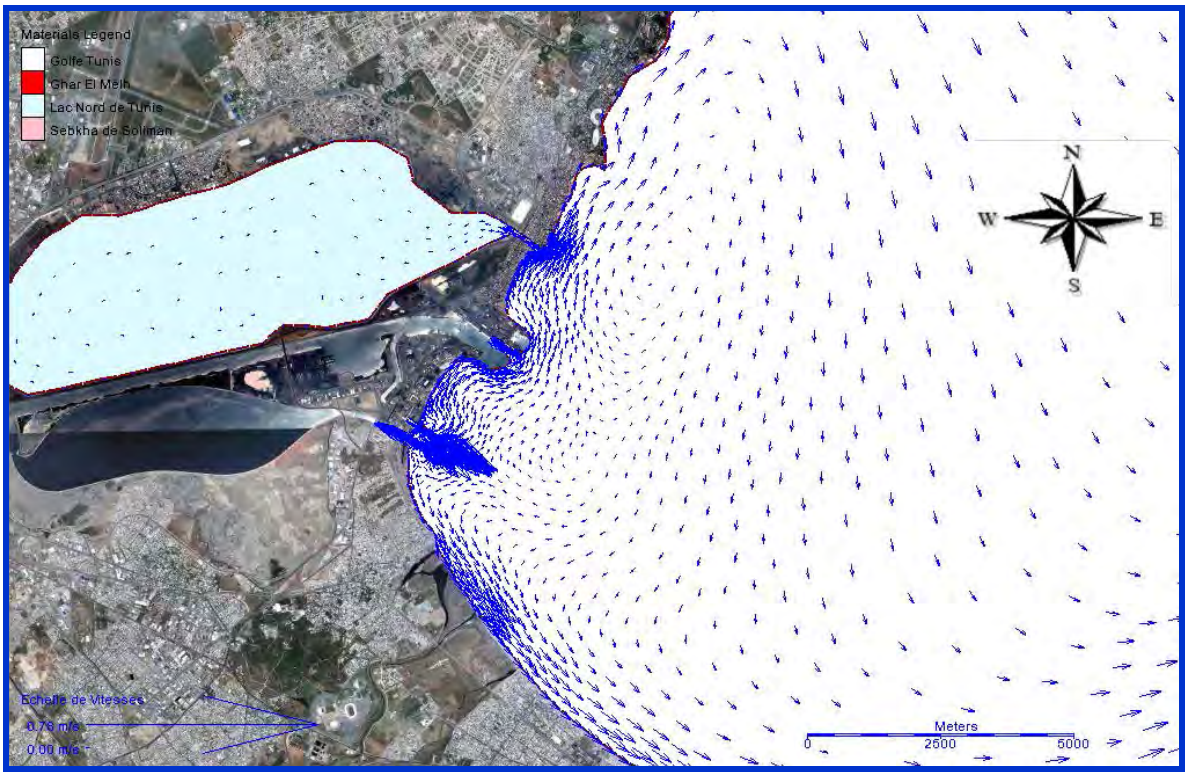
Courants calculés dans la Baie de Tunis et près de la zone de Radès et Conséquences sur la tache thermique

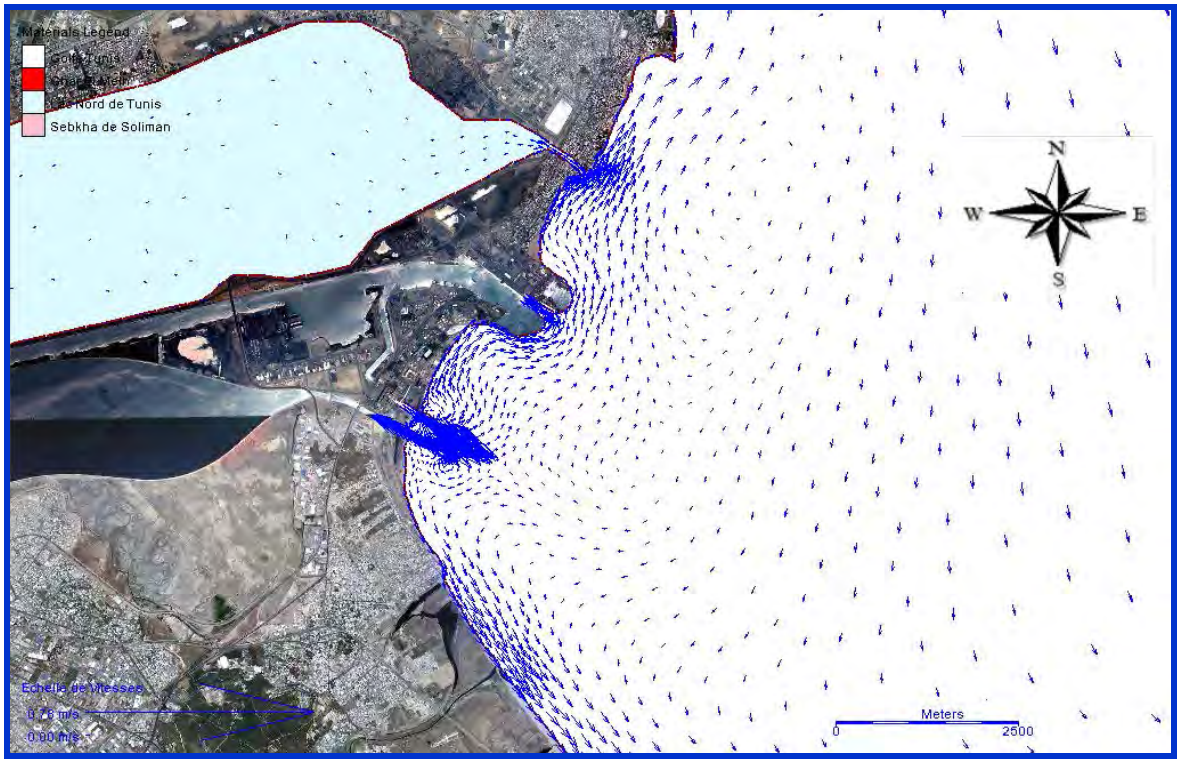
Cas de vent Ouest : (Voir les Figures ci-dessous)

- **Au large la circulation est giratoire (dans le sens inverse des aiguilles d'une montre) ;**
- **Proche de la zone de rejet des centrales électriques de Radès, le sens de l'écoulement est inversé (à cause de la présence des Digues)**

→ Les courants dans cette zone sont alors collés vers la côte et orientés vers le port de La Goulette, zones caractérisées par des faibles profondeurs : Ces courants vont contrôler la dispersion des eaux chaudes rejetés (ainsi, les eaux chaudes sont bloquées près des côtes et orientées vers le port de La Goulette) : C'est alors un vent défavorable vis-à-vis de la dispersion des eaux chaudes en milieu marin.



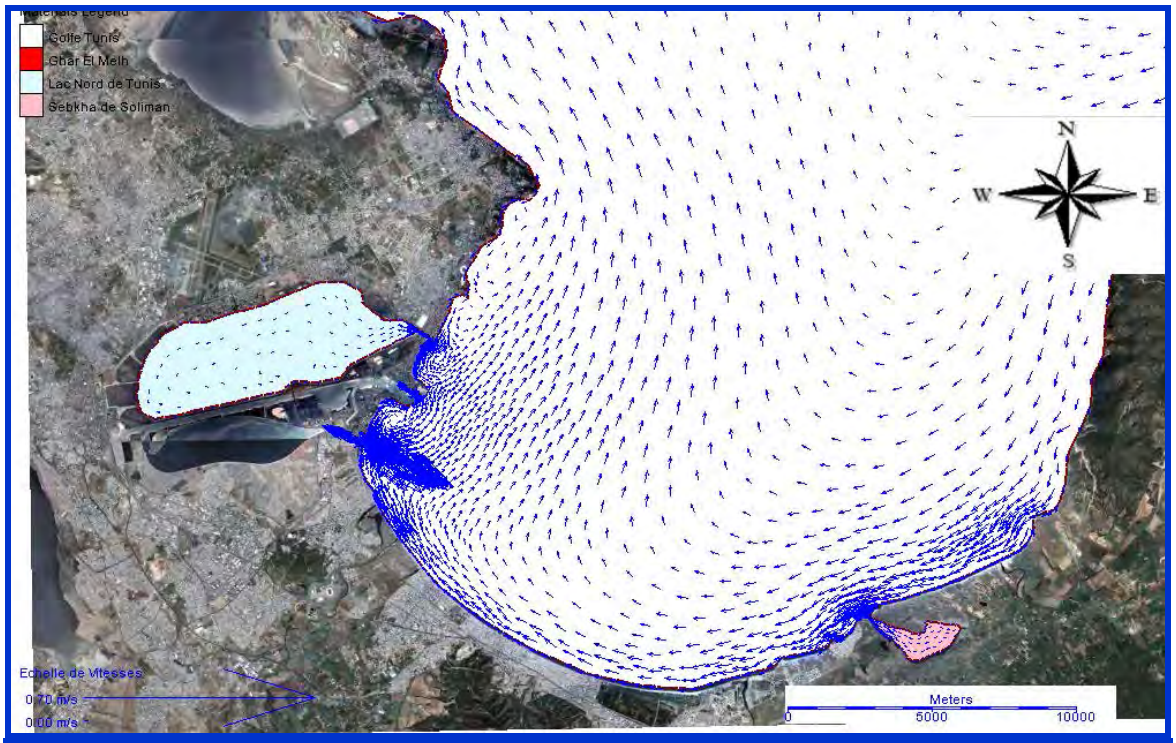

Materials Legend
Golfe Tunis
Ghar El Melh
Lac Nord de Tunis
Sebkha de Soliman
N
W
E
S
Echelle de Vitesses
0.75 m/s
0.00 m/s
Meters
0
2500
5000

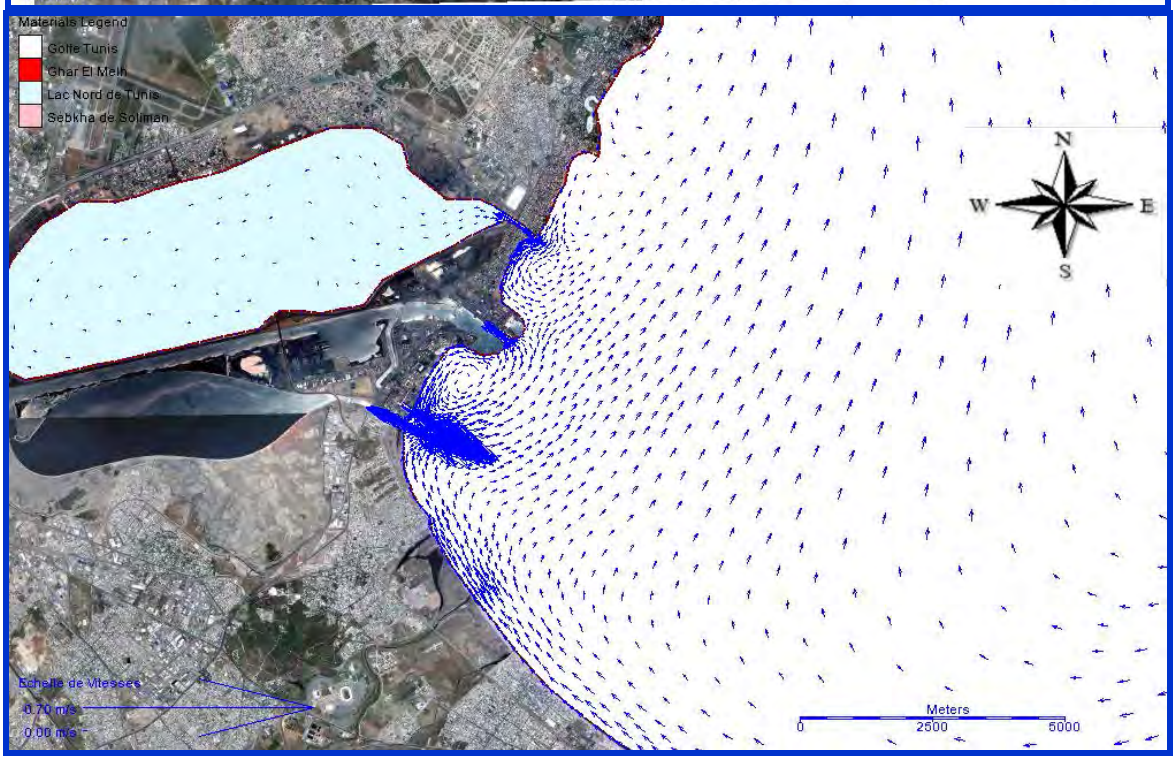

Materials Legend
Golfe Tunis
Lac Nord de Tunis
Sebkha de Soliman
N
W
E
S
Echelle de Vitesses
0.75 m/s
0.00 m/s
Meters
0
2500

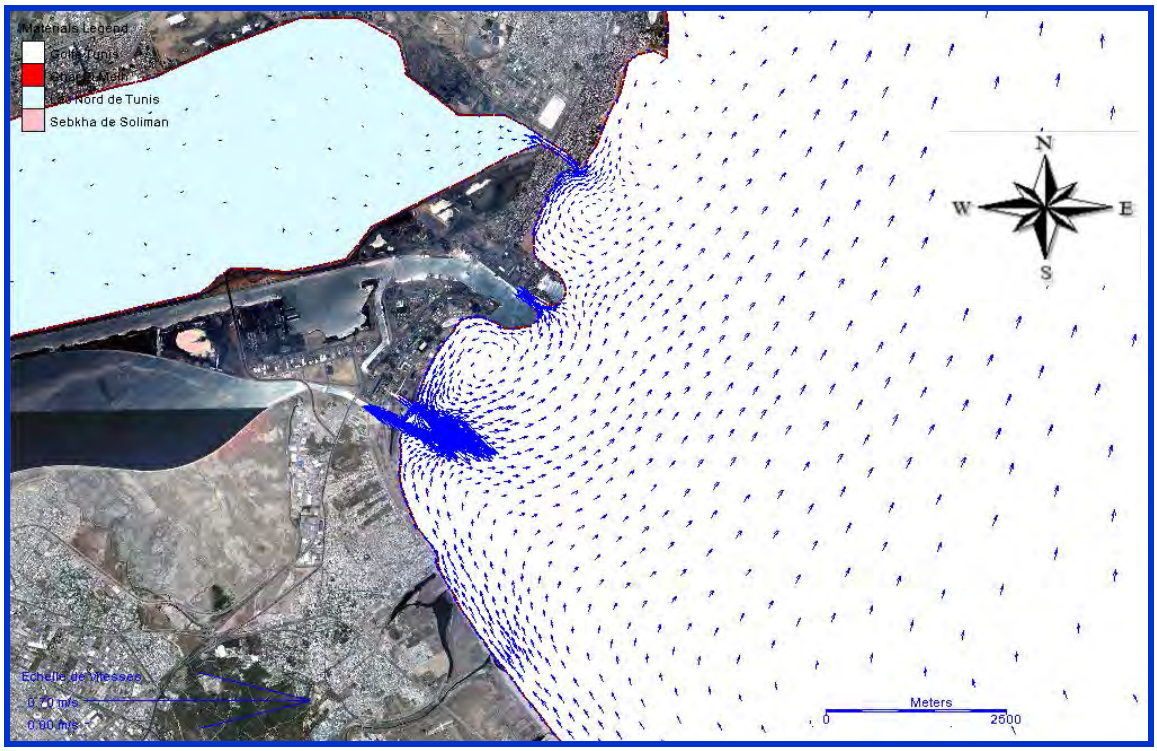
Cas de vent Est : (Voir les Figures ci-dessous)

- **Au large la circulation est aussi giratoire (mais dans le sens des aiguilles d'une montre) ;**
- **Proche de la zone de rejet des centrales électriques de Radès, le sens de l'écoulement est inversé (à cause aussi de la présence des Digues)**

→ Les courants en face du rejet des centrales sont alors orientés vers le large : Ces courants vont transporter vers le large (zones plus profondes où les eaux chaudes sont plus diluées) : C'est alors un vent Favorable vis-à-vis de la dispersion des eaux chaudes en milieu marin.






Materials Legend
Sebkha de Soliman
N
W
E
S
Meters
0
2500

Annexe 6:

LES PVs ET LISTE DES PRESENTS DES CONSULTATIONS PUBLIQUES