

Impact environnemental des rejets en Mer Méditerranée des Effluents des centrales thermiques au Liban

Jalal Halwani, Baghdad Ouddane, Ghayasse Abbasse et Moumen Baroudi

Résumé : Les centrales électriques thermiques nécessitent des quantités d'eau de refroidissement importantes qui les conduisent à s'installer de préférence en bord de mer. Au Liban six centrales électriques thermiques, situées le long de la côte, produisant de l'électricité par combustion de fioul lourd, et utilisent l'eau de mer dans leur système de refroidissement, quatre d'entre elles utilisent un procédé de dessalement d'eau de mer pour produire l'eau déminéralisée nécessaire aux turbines, l'eau prélevée est rejetée en mer après utilisation. Deux types de d'effluents sont rejetés en mer Méditerranée, des eaux de température plus élevée d'une quinzaine de degrés que celle du milieu aquatique, pouvant entraîner un phénomène de pollution thermique et des rejets des produits chimiques dus au dessalement des eaux de mer en plus des métaux toxiques résultant de la corrosion des installations.

La pollution thermique se traduit par des modifications écologiques qui ne sont pas sans importance vis à vis de la faune et la flore. L'alternance irrégulière des rejets entraîne des fluctuations dans les composantes de l'écosystème pouvant entraîner des destructions successives de ses composantes. Quant à la pollution chimique, si certains composés organiques se biodégradent en milieu marin, les métaux toxiques ont tendance à s'accumuler dans les sédiments et peuvent se remettre en suspension à cause des courants marins.

Dans le but d'avoir une première approche de l'impact des rejets en mer des effluents des centrales électriques au Liban et d'identifier les problèmes environnementaux sur le milieu aquatique, une étude a été effectuée sur les eaux du circuit de refroidissement de la centrale de Hraichet au Nord. Une Spéciation chimique des métaux toxiques a été faite sur les eaux du circuit de refroidissement en plusieurs points de la centrale pour déterminer les différents compartiments métalliques dans ces eaux.

Mots clefs : Circuit de refroidissement, Eaux marines, Liban, Pollution thermique, Spéciation métallique

INTRODUCTION

Les centrales électriques thermiques rejettent essentiellement des eaux de refroidissement en très grande quantité. Les principaux problèmes de la qualité de l'eau de mer résultant des rejets en mer des centrales électriques se résument par la pollution

thermique due au rejet d'eau chaude (augmentation de 10 à 20 °C de la température de l'eau de mer), des rejets des sels après dessalement, et des rejets de produits chimiques utilisés dans le processus de traitement dans les unités de dessalement qui pourraient inclure les agents détartrants, les agents anti-mousses, les coagulants, le chlore résiduel, les acides, ainsi que les métaux lourds toxiques résultant de la corrosion des installations comme le Ni, le Cu, le Zn, le Mo et d'autres [1-2]. Ces effluents méritent une attention particulière et doivent être considérés comme un phénomène pouvant affecter de façon continue une partie très importante de la zone littorale et avoir des conséquences sur la vie aquatique dues à un réchauffement du milieu naturel récepteur.

Au Liban, six centrales électriques thermiques sont situées le long du littoral, produisant de l'électricité par combustion de fioul lourd, et utilisent l'eau de mer dans leur système de refroidissement. Nous avons choisi d'étudier le cas de la centrale thermique de Hraichet au Nord Liban, et de suivre la variation des paramètres physico-chimiques et l'évolution de la teneur des métaux lourds toxiques dans les eaux de mer du circuit de refroidissement. Ces métaux qui sont en relation directe avec l'existence d'une pollution chimique, ne se dégradent pas et s'accumulent dans les sédiments à l'inverse des polluants organiques qui peuvent à court terme se biodégrader en milieu marin [3].

Dans la centrale thermique étudiée, le fioul lourd est chauffé à 140°C pour accroître sa fluidité, puis il est injecté dans la chaudière à l'aide de brûleurs appropriés en fournissant de la chaleur dans un générateur de vapeur (ou chaudière) qui est tapissé de tubes à l'intérieur desquels circule l'eau déminéralisée. Celle-ci se vaporise autour de 560°C et la pression atteint 180 bars environ. La vapeur est alors "détendue" dans une turbine à une basse pression (50 millibars). La détente de la vapeur provoquée par cette baisse de pression permet d'entraîner la turbine et l'alternateur qui produit l'électricité. La vapeur est ensuite liquéfiée dans un échangeur (appelé condenseur) composé de 7400 tubes en cupro-nickel de petit diamètre dans lesquels circule l'eau de refroidissement, prélevée de la mer. Le circuit eau-vapeur (circuit fermé), est constitué d'eau dépourvue de toute impureté pour ne pas endommager les circuits et éviter le risque de corrosion, il s'agit d'une eau d'origine souterraine déminéralisée par passage sur des résines échangeuses de cations et d'anions. Le circuit de refroidissement (circuit ouvert), est alimenté par l'eau de mer à l'aide de pompes à grand débit (1200 m³/h), les

Manuscrit reçu le 28 Novembre 2000. Les auteurs remercient le CNRS libanais pour le soutien accordé à la réalisation de ce travail.

Jalal HALWANI et Moumen BAROUDI sont à l'Université Libanaise, FSP-3, B. P. 246, Tripoli, Liban. E-mail: jhalwani@ul.edu.lb

Baghdad OUDDANE et Ghayasse ABBASSE sont à l'Université des Sciences et Technologies de Lille. Laboratoire de Chimie Analytique et Marine, 59655 Villeneuve d'Ascq cedex, France. E-mail: Baghdad.Ouddane@univ-lille1.fr

eaux chaudes sont rejetées directement en mer sans aucun traitement. Le débit nécessaire au refroidissement a été optimisé en fonction de la puissance de la tranche (75 MW nominale, mais fournit à l'heure actuelle de 35 à 40 MW) et des caractéristiques thermiques du condenseur.

MATERIEL ET METHODES

Les échantillons ont été prélevés à différents endroits dans le circuit de refroidissement :

1. Juste à l'entrée d'eau de mer (de la mer : bassin).
2. Juste au début du tuyau eau de mer après le filtre de tamisage.
3. A la fin du tuyau eau de mer avant d'entrer à la tranche.
4. Juste à la sortie du canal du rejet en mer.

Les mesures des paramètres physico-chimiques (salinité, température, oxygène dissous, conductivité électrique et pH) ont été réalisées sur place par des appareils portables suivant les normes internationales [4-5]. Le dosage des métaux a été effectué par spectrophotométrie d'émission atomique ICP (Inductively Coupled Plasma) à l'aide d'un spectrophotomètre à torche de plasma (Varian Liberty Série II, observation axiale) [6], les raies d'émission, les limites de détection et les conditions opératoires sont résumées dans le tableau 1. Les étalons pour les différents métaux ont été préparés à partir de solutions mères (titrisol, Merck) et d'eau ultra pure issue d'un système Millipore (Milli-Q plus) alimenté par une eau de ville préalablement déminéralisée par des résines échangeuses d'ions (ELGA). Le principe de cette méthode est le suivant :

- Injection d'une partie de l'échantillon nébulisé dans la torche à plasma inductif (ICP). L'échantillon soumis à une forte énergie thermique (proche de 7700°C) est excité. Le retour à l'état fondamental de l'échantillon se produit à une longueur d'onde caractéristique de l'élément à doser.
- Mesure de l'absorbance à la longueur d'onde spécifique de l'élément dosé.
- Détermination de la concentration de cet élément dans l'échantillon à l'aide d'une courbe d'étalonnage.

Les métaux à l'état de trace ne peuvent pas être dosés avec précision en présence d'une matrice très chargée en métaux alcalins comme le sodium et le potassium [7]. En effet, malgré l'augmentation de la sensibilité des instrumentations analytiques, la détermination des métaux traces dans un milieu complexe comme l'eau de mer est encore délicate. C'est pour cela que les échantillons étudiés doivent subir au moins deux processus analytiques préalables avant d'être analysés par les méthodes de spectrométrie atomique : la séparation et la préconcentration. Le terme séparation consiste à isoler les éléments étudiés de leur milieu, tandis que le terme préconcentration est une opération dans laquelle la concentration des éléments étudiés augmente pour s'affranchir des limites de détection des appareils [8].

Nous avons voulu étudier la spéciation des métaux toxiques pour déterminer la répartition des métaux sous

ses différentes formes (particulaire, organique, inorganique). En effet, il est reconnu que l'estimation de la toxicité d'un élément se fait sur la base de sa forme chimique plutôt que sur sa concentration totale et le comportement d'un micropolluant métallique au milieu marin est pour une large part conditionné par sa forme physico-chimique, et notamment par sa distribution entre les phases particulaire, colloïdale et dissoute [9]. Une bonne estimation de la spéciation des métaux en mer est ainsi essentielle pour plusieurs raisons :

- les métaux lourds associés à la matière particulaire peuvent s'accumuler dans certaines zones favorables à la sédimentation ou à la concentration de particules. Ces zones d'accumulation constituent des sources potentielles de pollution, les particules qui y sont stockées pouvant être remises en suspension au cours de périodes hydrologiques ponctuelles ;
- la biodisponibilité, et la toxicité des métaux lourds sont fortement dépendantes de la forme chimique sous laquelle ces derniers se présentent. Ainsi, il est généralement admis que les formes libres et labiles (peu stables) sont plus toxiques que les formes colloïdales et particulaires.

Il existe plusieurs méthodes de préconcentration pour la détermination des métaux traces dans l'eau de mer [10-11], notre choix s'est porté sur l'extraction solide – liquide qui est une méthode de préconcentration spécifique à certaines formes chimiques du métal afin d'accéder à sa spéciation en étudiant sa répartition en ses différentes formes chimiques [12]. La technique expérimentale consiste à ajouter un ligand chélatant (8-hydroxyquinoleine) à la solution à doser pour former des complexes stables avec les métaux. Ces complexes sont ensuite fixés par passage de la solution sur une cartouche C₁₈ «phase inverse» (Alltech). L'élution est effectuée à l'aide d'acide nitrique (2M) après un rinçage avec l'acétate d'ammonium (10⁻² M, pH =7), puis l'analyse est effectuée en ICP-AES. Pour étudier la spéciation des métaux, trois modes de préconcentration ont été suivies en partant toujours de 500 ml d'échantillon (figure 2) en suivant les protocoles :

- 1er- Echantillons bruts acidifiés avec 1 ml HNO₃ concentré pour faciliter la libération des fractions mobiles des métaux particuliers (échangeables et carbonates). On laisse reposer pendant deux nuits et Après 48 h les échantillons sont filtrés sur membrane en acétate de cellulose de porosité 0,45 µm (Alltech) avec une pompe millipore. Sur le filtrat, le pH est ajusté à sa valeur naturelle avec de l'ammoniaque concentrée, puis les métaux sont complexés par addition de 1 ml de 8 HQ (8-hydroxyquinoleine) et percolation sur cartouche C18 «phase inverse» à l'aide d'une pompe péristaltique (débit 5 ml/min). Cette méthode permet de fixer les métaux totaux (organique, inorganique et la fraction particulaire mobile) sur la colonne.
- 2e- Echantillons filtrés sur membrane 0,45 µm, on ajoute 1 ml de la 8 HQ puis comme précédemment la solution est percolée par une pompe péristaltique (débit 5 ml/min) sur la C18. Cette méthode permet de fixer les métaux dissous sur la colonne.

3e- Echantillons filtrés sur membrane 0,45 µm avec un passage direct sur la C18 sans complexation par la 8-HQ. Cette méthode permet de fixer les métaux liés à la matière organiques sur la colonne.

La spéciation des métaux concerne les éléments : Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, V, Zn.

RESULTATS ET DISCUSSION

La température initiale de l'eau de mer varie selon les mois, la plus faible est au mois de janvier et atteint 15 °C, la température la plus chaude est observée au mois d'août et atteint 29 °C. Le débit d'eau chaude est de 1200 m³/h.. L'échauffement de la température de l'eau entre l'entrée et la sortie du circuit de refroidissement est de 12 °C en moyenne. L'augmentation de la température d'eau de mer après mélange juste en aval de la centrale est de 7 °C. L'eau réchauffée s'étendra en nappe à la surface de la mer, on observe un échauffement de 3 °C en moyenne dans une zone d'environ 2 km².

Les résultats d'analyse sont donnés aux tableaux 2 à 4. La courbe 2 donne l'évolution des concentrations des métaux traces dans le circuit de refroidissement de la centrale électrique étudiée.

Nous constatons que le rejet des eaux chaudes entraîne un échauffement local dans le milieu aquatique et ceci va entraîner une influence importante sur l'écosystème marin. En effet, en augmentant la température de l'eau, les facteurs de mélange des couches d'eau sont suffisamment réduits du fait des faibles profondeurs dans les zones côtières, et donc de volume d'eau plus réduit pour assurer une inertie thermique [13]. On observe au sein de la colonne d'eau une stratification thermique importante avec une apparition d'une thermocline dont la forme est régulièrement modifiée par l'arrivée des effluents chauds et la remontée des eaux de fond plus froides et plus riches en sels nutritifs. Il en résulte une forte variabilité des facteurs physico-chimiques (salinité, pH, oxygène dissous, turbidité, etc.) qui régissent le fonctionnement dynamique ou biologique de l'écosystème [14]. D'une manière primordiale, la quantité de l'oxygène dissous dans l'eau est diminuée, les cadences de la photosynthèse et la croissance de plantes sont augmentées.

L'analyse chimique des éléments majeurs de l'eau de mer est conforme aux normes. En ce qui concerne la présence des métaux toxiques lourds dans les effluents de la centrale, nous pouvons être sûr qu'il n'y a pas de pollution chimique importante due à ce type de rejet du fait des concentrations très faibles qui sont inférieures aux maximums autorisés. En comparant la variation des différentes concentrations des métaux traces dans les divers compartiments, nous remarquons que la concentration du fer augmente au niveau de la tranche qui serait due à la présence de la rouille qui couvre certaines parties en fer exposées à l'humidité au niveau des turbines, la température à ce niveau atteint plus de 35 °C, et c'est uniquement la forme particulaire qui a augmenté. La concentration en fer diminue à la sortie de la tranche ce qui indique que les particules en fer ont été retenues dans la tranche. Le fer est présent en milieu marin [15] et

et ne présente pas un risque important pour la vie aquatique. Quant au nickel, c'est la forme dissoute qui augmente au même niveau du circuit de refroidissement. La forte concentration du zinc au début est due à la présence de bloc de zinc dans le bassin d'entrée, ces blocs sont ajoutés pour ralentir la corrosion des pompes immergées.

La pollution thermique est un problème écologique non négligeable. La mer Méditerranée est un écosystème fragile, nous constatons aujourd'hui, qu'il est faux de supposer que cette mer est si vaste que nous pouvons continuer à abuser de cette espace environnemental. La qualité des effluents rejetés doit être contrôlée suivant des normes compatibles avec la vie aquatique pour maintenir ou améliorer la nature physique, chimique et biologique de l'écosystème marin. Dans un souci de préserver la faune aquatique, il convient donc aux centrales électriques de respecter au mieux ce milieu naturel, la moindre pollution peut compromettre la biodiversité existante. L'augmentation de la consommation électrique au Liban est estimée à 9 % par an, les deux dernières usines à cycle combiné construites récemment dans le Nord (Deir Ammar) et le Sud (Zahrani) ne fonctionnent pas en plein régime (300 sur 450 MW par usine), de ce fait les unités de dessalement ne sont opérationnelles en plein régime, dans le cas de fonctionnement continu, le besoin de ces 2 usines est de 35000 m³ /j d'eau de mer, 20% seront rejetés sous forme de sels et autres effluents issus du procédé de dessalement. On peut donc s'attendre à ce que le rejet en mer augmente perturbant les écosystèmes benthiques et pélagiques côtiers en modifiant les caractéristiques physiques et chimiques de base des eaux marines. On estime que le rejet en mer à partir de l'année 2002 sera dix fois plus qu'à l'heure actuelle.

CONCLUSION

L'injection dans le milieu aquatique de quantités importantes d'eaux présentant un état thermique élevé par rapport au milieu récepteur peut être à la base de troubles écologiques suffisamment importants pour que cette technique ne soit admise qu'après des études d'impact tenant compte de la protection de l'environnement littoral. Des études de modélisation sur ces rejets en mer sont à faire afin de déterminer la technique de rejet permettant de réduire au minimum l'impact de ces effluents sur le milieu aquatique. Cette étude doit être étendue aux autres centrales électriques du pays et il faudrait s'assurer du respect strict des normes de rejets définis par les conventions internationales par une surveillance permanente des caractéristiques physico-chimiques de l'eau de mer et les concentrations des métaux toxiques lourds. Ces études doivent être suivies par des expérimentations sur les conséquences biologiques des effluents. de ces rejets sur des peuplements benthiques des zones côtières.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les ingénieurs de la centrale de Hraïchet pour le soutien accordé à la réalisation de ce travail.

REFERENCES

- [1] P. Khalansky, "Centrales thermiques littorales et perturbations écologiques". *Océanis*, 4, N 3, 1978, pp.152-195.
- [2] A. M. Altayaran. I. M., & Madany, "Impact of desalination plant on the physical and chemical properties of seawater, Bahrain." *Water Research*, vol. N. 4, 1992, pp.435-441
- [3] S. A. Gerlach, *Marine pollution*. Springer Verlag, Heidelberg, New York, 1981, 223 p.
- [4] K. Grasshoff, *Methods of seawater analysis*. Verlag Chemie, Weinheim, New York, 1982.
- [5] A. Aminot, M. Chaussepied, *Manuel des analyses chimiques en milieu marin*, CNEXO, Brest, 1983.
- [6] B. Ouddane, M. Skiker, J.C. Fischer and M. Wartel, "Dosage des métaux en traces dans les eaux estuariennes par spectrométrie d'émission atomique avec plasma à couplage inductif après coprécipitation avec le gallium associé au magnésium." *Analisis*, 25, 1997, pp.308-313.
- [7] J. Rodier, et Coll., *L'analyse de l'eau*, Paris : Editions Dunod, 7^{ème} édition, 1984.
- [8] G. E. Batley, *Trace element Speciation: Analytical Methods and Problems*. CRC Press, 1989.
- [9] M. Amdurer, D. Adler and P. H. Santschi, "Studies on the chemical forms of trace elements in seawater using radiotracers." In: *Trace Metals in seawater*. Plenum Press 1983, pp. 537-562.
- [10] S. Blain, P. Appriou, and H. Handel, "Preconcentration of trace metals from seawater with the chelating resin chelamine." *Analytica Chimica Acta* 272, 1993, pp.91-97.
- [11] L. L'Herroux, S. Le Roux, & P. Appriou, "Behavior and speciation of metallic species Cu, Cd, Mn and Fe during estuarine mixing." *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 36, No. 1, 1998, pp. 56-64.
- [12] G. Abbasse, B. Ouddane, J. Halwani, et J.C. Fischer, "Détermination des métaux traces dissous dans les eaux marines : Approche de spéciation chimique." In 26^{ème} colloque de L'Union des Océanographes de France, *Zones littorales et anthropisation : Gestion et nuisances*. La Rochelle (F), 4-6 juillet 2000.
- [13] J. F. Macqueen, R.W. Preston, "Disposal in the sea of cooling water." *Water Res.*, 17, N 4, 1983, pp.389-395.
- [14] P. Zeidler, "Disposal of wastewater and hot water in the sea." *Oceanology*, N 5, 1975, pp.125-133.
- [15] B. Ouddane, M. Skiker, J.C. Fischer and M. Wartel, "Distribution of iron and manganese in the Seine estuary: approach with experimental laboratory mixing." *Journal of Environmental Monitoring*, 1, 1999, pp.489-496.

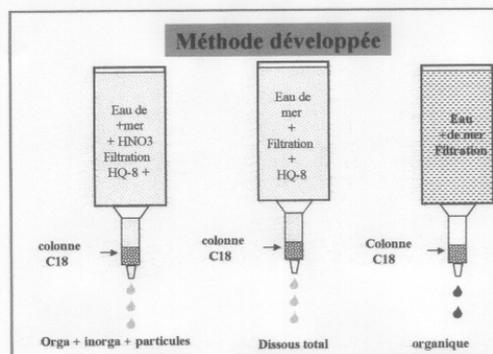


Figure 1 : Méthode développée pour l'étude de spéciation des métaux traces.

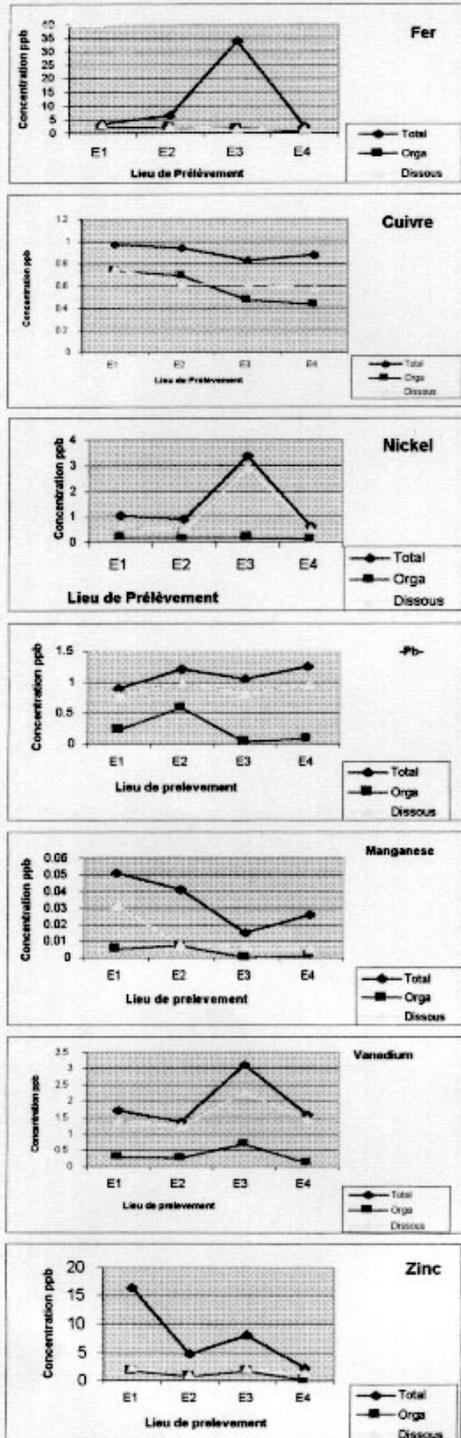


Figure 2 : Evolution des différents états des métaux traces dans le circuit de refroidissement