



ENVIRONNEMENT ET GESTION DURABLE DES ÉCOSYSTÈMES NATURELS AU MOYEN-ORIENT

Claude Daou

► To cite this version:

Claude Daou. ENVIRONNEMENT ET GESTION DURABLE DES ÉCOSYSTÈMES NATURELS
AU MOYEN-ORIENT. 2013. hal-01337023

HAL Id: hal-01337023

<https://confremo.hal.science/hal-01337023>

Submitted on 24 Jun 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Le développement des sociétés passe aujourd'hui par une maîtrise des questions environnementales qui sont aussi un enjeu des relations internationales de ce début du 21ème siècle. Les savoirs et connaissances dans ce domaine sont de créations très récentes ; ils mobilisent davantage diverses disciplines.

L'Agence favorisera l'émergence et le développement d'une expertise de la communauté scientifique francophone sur l'environnement. Elle le fera notamment par le renforcement des capacités des enseignants-chercheurs et des décideurs (fonctionnaires des ministères concernés) des pays francophones en développement. Cela concerne la consolidation des compétences institutionnelles en matière de négociation internationale et la formation d'experts locaux pour la mise en place de stratégies nationales d'adaptation aux changements climatiques.

Extrait de la programmation quadriennale de l'Agence universitaire de la Francophonie 2010 - 2013.

ENVIRONNEMENT ET GESTION DURABLE DES ÉCOSYSTÈMES NATURELS AU MOYEN-ORIENT

Actes de colloque
Beyrouth, 18-20 avril 2011



Agence universitaire de la Francophonie



Actes de colloque du séminaire régional

Environnement et gestion durable des écosystèmes naturels au Moyen-Orient

18-20 avril 2011

Beyrouth - Liban

Organisé par le Bureau Moyen-Orient de l'AUF
Sous le parrainage du Ministère de l'Énergie et de l'Eau



En partenariat avec
l'Ambassade de France au Liban, le Conseil national de la Recherche Scientifique, le Centre de recherche pour le développement international et Berytech



AVANT-PROPOS

La dégradation continue et accélérée de la plupart des écosystèmes est une réalité à laquelle le Moyen-Orient fait face actuellement.

Le Ministère libanais de l'environnement, en collaboration avec le Programme des Nations Unies pour le Développement, a publié le troisième rapport sur « L'état de l'environnement et ses tendances au Liban » (SOER) pour la période 2010-2012. Ce rapport, qui fournit un aperçu de l'état actuel des ressources naturelles et de la gestion environnementale et analyse des développements passés et pistes futures dans les secteurs de l'eau, de la qualité de l'air, de la biodiversité, des déchets, de l'urbanisation, de l'énergie et de la gouvernance environnementale, dresse un tableau alarmant de la situation de l'environnement. Les tendances ne témoignent pas d'un avenir durable pour le Liban en l'absence d'une forte volonté politique de poursuivre l'intégration des considérations environnementales dans tous les secteurs.

Ce constat touche le Liban mais également d'autres pays arabes de la région. En effet, le Forum arabe pour l'environnement et le développement (AFED) a effectué en 2006 un sondage public sur les tendances de l'environnement dans le monde arabe. Selon ce sondage, 60% des répondants ont déclaré que l'état de l'environnement dans leur pays s'était détérioré au cours des dix dernières années. Ils attribuent ce phénomène à des dépenses publiques pour l'environnement insuffisantes, des programmes de sensibilisation inadaptés, et une gestion environnementale discutables.

Plus récemment, un autre rapport de l'AFED datant de 2010 a révélé que d'ici à 2015, la région arabe se trouvera dans une situation de pénurie d'eau, et comme conséquence une pénurie alimentaire.

Si la cause principale de cette dégradation reste l'activité humaine incontrôlée, ses conséquences n'en restent pas moins nombreuses.

C'est dans ce cadre que le Bureau Moyen-Orient (BMO) de l'Agence universitaire de la Francophonie (AUF) a décidé d'entreprendre, avec les

universités partenaires de la région, des projets dont la thématique est l'« **Environnement et le Développement Durable** ». À cet effet, le BMO a organisé un séminaire qui s'est tenu du 18 au 20 Avril 2011 à Beyrouth, et qui a regroupé des chercheurs venus de Djibouti, d'Égypte, de France, du Canada, d'Italie, du Liban, de Palestine et de Syrie.

Ce séminaire régional « **Environnement et gestion durable des écosystèmes naturels au Moyen-Orient** » avait pour objectif de renforcer le dialogue entre chercheurs, de consolider les échanges scientifiques prenant en compte les besoins de la société en terme de développement durable. Ce séminaire fut aussi l'occasion de faire un état des lieux des problèmes environnementaux dans la région Moyen-Orient.

Cet ouvrage collationne les Actes de ce séminaire. Il traduit un véritable intérêt pour la mise en réseau des chercheurs de la région dans tous les domaines de l'environnement. Sept thématiques sont abordées : Eau, Air et Changement Climatique, Biodiversité et Écosystèmes, Déchets, Énergies Renouvelables, Aménagement du territoire (enjeux sismiques et carrières), Droit et Économie de l'environnement.

Concernant l'**Eau**, le premier article est une approche générale et comparative de l'accès à l'eau potable dans les pays du Sud et les pays du Nord. Ensuite, les deux articles qui suivent traitent de deux sujets concernant le Liban : le couvert neigeux sur le territoire libanais et les biens hydrauliques d'eau potable de la région de la Bekaa. Enfin, les deux derniers articles analysent deux cas particuliers dans la région : le premier celui du Lac Jabboul en Syrie et le second celui de la ville de Djibouti.

Sous le slogan « L'eau c'est la vie », **Bernard LEGUBE**, Directeur de l'École Nationale Supérieure d'Ingénieurs de Poitiers – France, s'interroge sur la question de l'accès à l'eau potable : une préoccupation majeure dans les pays du Sud. Il souligne l'importance des défis à relever en matière de responsabilité des pays du Sud à assurer une bonne qualité de l'eau pour leur population d'une part, et en matière de responsabilités des pays du Nord à soutenir les pays du Sud dans leur démarche, d'autre part.

Antoine HREICH, Directeur du département Ressources en eau et Environnement à l'École Supérieure d'Ingénieurs de Beyrouth – Liban, analyse l'impact d'un réchauffement climatique potentiel sur le couvert neigeux sur tout le territoire libanais et les conséquences éventuelles sur la répartition des disponibilités. Les modèles élaborés dans cette étude laissent présager une augmentation de la température de l'ordre de 1,6°C à l'horizon 2050. Il en découlerait alors une baisse de la fraction neigeuse de précipitation. Les conséquences socio-économiques seront multiples. Il est à noter à titre d'exemple une prolongation d'un mois de la saison de pénurie qui sera plus sévère.

Hayat TOUCHAN et Salim BADLISSI de l'Université d'Alep – Syrie se sont intéressés à l'étude de cas du lac Jabboul qui se situe à 40 km à l'Est de la ville d'Alep en Syrie. Ce lac fut déclaré « réserve naturelle écologique en Syrie » en 1997 et enregistré sur la liste des « terres humides d'importance internationale » selon la convention on Wetland « RAMSAR » en 1998. Le lac doit sa réputation à sa riche biodiversité tant en espèces végétales qu'animales, ainsi qu'à la salure de ses eaux qui laisse une quantité importante de sels de qualité extraits et commercialisés pendant les saisons sèches. Cet article traite des problèmes de pollutions croissantes (urbaine, agricole et industrielle de la région) qui pèsent sur cet écosystème particulier, mettant en péril ses richesses naturelles. Les auteurs proposent un plan d'aménagement d'ensemble non seulement pour sauvegarder cet environnement de la pollution mais aussi pour le mettre en valeur par le biais du développement socio-économique de la région en termes d'écotourisme.

Imad EL KHAZEN de l'Agence Allemande pour la Coopération Internationale (GIZ GmbH) – Liban, quant à lui, présente un document exhaustif sur les biens hydrauliques en eau potable dans la région de la Bekaa. Ce document constituera une référence pertinente quant aux données quantitatives et qualitatives concernant l'eau potable dans la Bekaa afin de mieux gérer les infrastructures et améliorer le niveau des services d'approvisionnement.

Toujours dans la perspective d'une bonne gestion de l'eau mais ici en zone aride, **Ahmed ABDILLAH** de l'Université de Djibouti – Djibouti donne l'exemple de la ville de Djibouti. Cette ville souffre, comme bien d'autres, d'une insuffisance de son potentiel hydrique accentuée par l'existence d'inégalités de nature très différente : spatiale, socio-économique, socio-politique et socio-ethnique. L'auteur tente une approche transdisciplinaire qui allie trois dimensions inhérentes au caractère durable de la gestion de l'eau : économique en terme d'efficacité, environnementale par la préservation de la ressource et sociale en donnant un accès équitable au niveau intra et intergénérationnel. Il souligne l'importance de la définition de politiques publiques qui pourront corriger les inégalités environnementales associées à cette ressource.

Sur la thématique de l'Air et du Changement Climatique, différentes approches de la qualité de l'air sont abordées : de la variabilité climatique au Liban à la caractérisation de la pollution de l'air à Beyrouth.

Ihab JOMAA chercheur à l'Institut de Recherche Agronomique Libanais (IRAL) – Liban, donne un aperçu sur la variabilité climatique au Liban. Ces données climatiques (représentation des moyennes mensuelles des précipitations, températures, humidité relative) sont collectées par diverses stations météorologiques qui couvrent tout le territoire libanais de la période 2009 à 2011. L'auteur souligne l'importance de l'introduction de nouveaux paramètres climatiques qui aideront à mieux comprendre l'évolution du climat au Liban, tributaire sans doute de sa géomorphologie spécifique, responsable de divers microclimats.

Ahmad EL MOLL de l'Université Libanaise – Liban brosse un état des lieux de la pollution atmosphérique et aborde certains de ses aspects notamment la caractérisation physico-chimique des aérosols urbains, l'étude de leur impact sur le climat ainsi que leurs effets urbains sur le réchauffement climatique de la terre.

Charbel AFIF de l'Université Saint Joseph – Liban s'est attaché à la pollution atmosphérique à Beyrouth, d'ailleurs peu documentée, son origine, sa nature et son impact sur l'environnement et sur la santé publique. L'article fait l'objet d'un projet en cours *"Emission and Chemistry of Organic Carbon in the East Mediterranean – Beirut"* (ECOCHEM) qui tente de mieux caractériser la qualité de l'air à Beyrouth pour ce qui est du COV (Carbone Organique Volatil) et de l'aérosol organique (AO). L'objectif final du projet est de constituer une base de données afin d'élaborer un système de modélisation de la qualité de l'air à Beyrouth (modèle météorologique, inventaire d'émissions, modèle de chimie-transport). La méthodologie y est décrite ainsi que l'état d'avancement du projet.

La troisième partie est consacrée à la biodiversité et aux écosystèmes correspondants. Le Conseil National de la Recherche Scientifique – Liban (CNRS-L) détaille dans le premier article son projet CANA qui traite de tous les aspects de la zone côtière libanaise. Les deux articles suivants complètent le premier concernant la pollution des eaux marines et la nécessité de restitution des écosystèmes aquatiques. Le dernier article traite de la pollution du sol et son effet sur les plantes.

Une des approches les plus pertinentes en cours de réalisation au Liban est celle du projet CANA coordonné par **Gaby KHALAF**, Directeur du Centre de recherches marines du CNRS-L. Ce projet, lancé en septembre 2009, comprend cinq programmes de recherche couvrant l'ensemble des eaux marines côtières libanaises et du large de la méditerranée. Il s'agit de : 1) la bathymétrie côtière qui consiste principalement à dessiner des cartes bathymétrique, sismologique, de navigation dans les entrées de ports, etc. 2) l'hydrologie et biodiversité qui cible la biocénose et tous les aspects de son adaptation aux variations du milieu, 3) la pollution côtière du point de vue bactériologique aussi bien que chimique notamment l'impact de la marée noire de 2006 et le suivi de son évolution dans le temps, 4) les ressources halieutiques et mammifères marins (stratégie nationale pour le développement de l'aquaculture, 5) la valorisation et la sensibilisation qui se traduisent surtout par un investissement des résultats dans un aménagement durable. Un inventaire des résultats préliminaires est synthétisé sous chaque rubrique.

Jalal HALAWANI, professeur à l'Université Libanaise – Liban, s'intéresse à un aspect de la pollution des écosystèmes, celle de la contamination par le mercure et son impact sur la santé publique. Une vue générale sur le cycle biogéochimique du mercure, l'origine de la pollution, sa spéciation ainsi que sa toxicité, et son devenir dans l'environnement sont abordés.

Joseph SAAB, Enseignant-Chercheur à l'Université Saint-Esprit de Kaslik – Liban, a également mis l'accent sur la pollution côtière de la méditerranée notamment sur la caractérisation physico-chimique de certains polluants organiques rencontrés dans la méditerranée tels le 1-naphtol N-méthylcarbamate, insecticide et leur évolution dans le temps sous l'angle de la thermodynamique de transfert.

Nathalie ESTEPHAN, Enseignante-Chercheuse à l'Université Saint-Esprit de Kaslik – Liban, s'est intéressée à l'impact de la pollution par les métaux lourds sur les espèces endémiques et sédentaires de poisson (*Siganus rivulatus* et *Diplodus sargus*) au Liban. Ses travaux ont montré une contamination nette par le plomb et le cuivre, ce qui pose un problème majeur en termes de santé publique. Une surveillance continue à chaque saison s'avère indispensable afin de suivre l'évolution de la contamination dans chacune des espèces étudiées.

La pollution des écosystèmes mais terrestres cette fois-ci est traitée par **Lina NAFEH KASSIR** de l'Université Saint-Esprit de Kaslik – Liban. Ses travaux portent sur le transfert et la mobilité des métaux lourds dans les sols libanais soumis à l'amendement du phosphogypse dans la région de Bsarma au nord du Liban. Les résultats montrent que le phosphogypse, qui normalement est rajouté dans le sol pour ses propriétés stabilisantes, entraîne une augmentation de la solubilisation des métaux lourds. Ces derniers se trouvent absorbés et accumulés par les plantes causant un risque de transfert vers la chaîne alimentaire.

La quatrième thématique porte sur **La collecte, le traitement et la valorisation des déchets**. Le premier article résume les problèmes de résorptions des décharges publiques au Liban. En réponse à cette

problématique libanaise, l'article suivant montre que des initiatives à micro-échelles révèlent le type de problèmes auxquels l'environnement est confronté et les moyens de doter les collectivités des équipements nécessaires à la collecte, au tri et à l'élimination de leurs déchets.

Nada CHBAT, Professeur à l'Université Libanaise – Liban, fait dans son article l'état des lieux du traitement des déchets et des décharges au Liban et les obstacles auxquels se heurte une gestion rationalisée de ces déchets. Cependant, elle souligne le rôle des acteurs privés dans la résorption des décharges publiques. C'est dans cette perspective qu'*Arcenciel*, une association libanaise à but non lucratif et au service des plus démunis, a fixé comme objectif la préservation et la protection des ressources naturelles.

Dominique SALAMEH, Chef du programme environnement de cette association, a présenté le réseau national de collecte et de traitement des Déchets des Activités de Soins à Risques Infectieux (DASRI), établi au sein de cette association. Ce réseau développe une stratégie pour la gestion des DASRI au Liban. La méthode utilisée actuellement est la stérilisation par autoclavage, une technologie optimale du point de vue environnemental, social et économique. Cette expertise dans la gestion des DASRI est en phase d'expérimentation dans d'autres pays comme la Syrie. La recherche de solutions adaptées pour les autres DASRI est en cours d'étude.

Une autre approche aussi innovante dans la valorisation des déchets est décrite par **Issa LABABIDI** de l'Université d'Alep – Syrie. Elle consiste en l'utilisation des fibres de déchets industriels et les fibres de déchets végétaux pour renforcer les bétons et les mortiers. L'auteur a noté une amélioration de la résistance à la compression pouvant atteindre 50 %, et une résistance significative à la fissuration par rapport aux bétons et mortiers sans fibres, une alternative au béton armé qui semble prometteuse.

La cinquième thématique traite de l'**Aménagement du territoire : les enjeux Sismiques et les carrières**. Les deux premiers articles font l'état des lieux des carrières au Liban ainsi que les moyens de leurs restaurations. Une étude de cas sur l'aménagement du territoire du Haut Metn au Liban vers une charte de territoire durable fait l'objet du troisième article.

Deux chercheurs du CNRS-L, **Talal DARWISH** et **Carla KHATER**, s'accordent à dire que les carrières au Liban ont un impact irréversible sur l'environnement. Talal DARWISH met l'accent sur la dégradation des ressources naturelles causée par les carrières abandonnées, alors que Carla KHATER insiste sur l'importance de la restauration et la réhabilitation des carrières au Liban. Pour KHATER, la réhabilitation des carrières au Liban demeure un enjeu crucial pour le maintien de l'intégrité des écosystèmes naturels en concordance avec une demande croissante en matières premières.

Éric BOUVARD, Représentant de la Région Île-de-France, Municipalité de Beyrouth – Liban, présente dans son article le projet « Aménagement du territoire du Haut Metn : Vers une charte de territoire durable pour la fédération des municipalités du Haut Metn ». Ce projet vise à instaurer des Parcs naturels régionaux. La démarche consiste en l'élaboration d'une charte intercommunale de territoire durable. La première phase du projet s'attache à mieux définir le territoire concerné, puis à approfondir la connaissance de ce territoire afin d'identifier les grands enjeux et les orientations et enfin, d'élaborer la future charte de territoire. C'est un projet pilote qui pourrait s'appliquer à d'autres régions du Liban et des pays de la région.

La cinquième thématique **Énergies renouvelables** présente un grand pas vers la préservation de l'économie mondiale ainsi que l'environnement.

Ahmed ABU HANIEH, Chef de service de génie mécanique de l'Université de Birzeit - Palestine, analyse les moyens envisageables afin d'augmenter l'efficacité des panneaux photovoltaïques dans le captage de l'énergie solaire en Palestine.

La sixième thématique **Droit et Économie de l'Environnement** est une science encore peu développée dans les pays du Machrek selon l'auteur du premier article. C'est une approche qui crée une synergie entre les décideurs publics et les acteurs de l'environnement mais qui n'est pas toujours évidente. L'expérience de la Syrie dans le droit de l'environnement a été développée dans le second article.

Dans ce cadre, **Hiba CHAKAR** de l'Université d'Alep – Syrie, analyse l'évolution et l'évaluation du droit de l'environnement en Syrie. Ce pays a été le premier au Moyen-Orient à prendre conscience des défis environnementaux dans tous leurs aspects et à instaurer le « droit de l'environnement ». Toutefois, il est nécessaire pour une application effective de ce droit que les pouvoirs publics s'investissent fortement.

Charles ABDALLAH, Économiste à la Commission européenne, Délégation de Beyrouth – Liban, fait une comparaison pertinente entre les efforts de réflexion et de recherche en matière de préservation de l'environnement de la communauté européenne et ceux des pays du Machrek qui sont encore rudimentaires.

L'ensemble de ces interventions montre certes la forte dynamique de recherche dans le domaine de l'environnement mais révèle aussi le long chemin qu'il reste à parcourir pour une prise de conscience des citoyens et des décideurs politiques de la nécessité de prendre des mesures urgentes pour répondre aux problèmes environnementaux.

Suite à ce colloque, le BMO a soutenu des projets de coopération scientifique inter-universitaire à hauteur de 20 000 euros chacun dans le domaine de l'eau « Étude isotopique et géochimique de bassins versants de zones urbaines et rurales : qualification des sols et ressources hydriques au Liban », porté par Mme Véronique KASPARD de l'Université Libanaise – Liban ; dans le domaine de la Biodiversité « Les plantes médicinales dans les régions de Randa et de Dikhil et leurs activités antimicrobiennes », porté par Mme Shaimaa HASSAN ABDALLAH de l'Université de Djibouti – Djibouti ; dans le domaine des déchets « Valorisation de résidus alimentaires dans le développement de nutraceutique à potentiel anticancéreux et/ou modulateur redox », porté par M. Essam ABDEL SATTAR de l'Université du Caire – Égypte ; et dans le domaine des énergies renouvelables « Des Convertisseurs d'Énergie Électrique à Nouvelles Structures pour une Pénétration Simple et Efficace des Sources à Energie Renouvelable Distribuées dans des Réseaux Électriques Conventionnels », porté par M. Hadi KANAAN de l'Université Saint-Joseph – Liban.

Claude DAOU, Chef de Département de l'analyse de l'EAU
Institut de Recherche agronomique au Liban - IRAL

SOMMAIRE

PANEL EAU

L'accès à l'eau potable, une préoccupation majeure dans les pays du Sud 21

Bernard LEGUBE

Directeur

École Nationale Supérieure d'Ingénieurs de Poitiers – Université de Poitiers
– France

Impacts d'un réchauffement climatique potentiel sur la neige au Liban 33

Antoine HREICHE

Expert environnement et ressources en eau – SETS sarl

Professeur-assistant – École Supérieure des Ingénieurs de Beyrouth –
Université Saint-Joseph – Liban

Le lac Jabboul en Syrie : vers un développement durable 47

Hayat TOUCHAN et Salim BADLISSI

Université d'Alep – Syrie

Documentation des biens hydrauliques d'eau potable dans la région de la Beqaa 59

Imad EL KHAZEN

Conseiller technique

Agence Allemande pour la Coopération Internationale (GIZ GmbH) – Liban

Gestion durable de l'eau en zone aride : l'exemple de la ville de Djibouti ... 71

Ahmed ABDILLAHI BOUH

Professeur assistant en économie

Centre de Recherche de l'Université de Djibouti (CRUD) – Université de
Djibouti – Djibouti

PANEL AIR ET CHANGEMENT CLIMATIQUE

Variabilité climatique au Liban 85

Ihab JOMAA

Chef de département

Institut de Recherche Agronomique Libanais – Liban

La pollution atmosphérique urbaine : évaluation de l'impact sur le climat ... 93

Ahmad ELMOLL

Maître assistant

Faculté de Santé Publique – Université Libanaise – Liban

Les polluants atmosphériques à Beyrouth : mesures et modélisation 111

Charbel AFIF

Directeur Technique

Centre d'Analyse et de Recherche – Université Saint-Joseph de Beyrouth – Liban

Le transfert et la mobilité des métaux lourds dans les sols libanais soumis à l'amendement du phosphogypse121

Lina NAFEH

Doctorante

Université Saint-Esprit de Kaslik – Liban

PANEL BIODIVERSITÉ

Résultats préliminaires des études menées dans le cadre du projet CANA 129

Gaby KHALAF

Directeur

Centre de recherches marines – Centre National de la Recherche Scientifique – Liban

Caractérisation de la contamination des écosystèmes par le Mercure et son impact sur la santé147

Jalal HALAWANI

Professeur

Faculté de Santé Publique, Département Santé & Environnement, Laboratoire des Sciences de l'Eau et de l'Environnement – Université Libanaise – Liban

Polluants Organiques en Méditerranée. Thermodynamiques de transfert .. 155

Joseph SAAB

Assistant/Coordinateur de la Recherche

Faculté des Sciences – Université Saint-Esprit de Kaslik – Liban

Impact de la pollution sur les espèces endémiques et sédentaires de poisson au Liban 165

Nathalie ESTEPHAN

Enseignant-chercheur

Faculté des Sciences – Université Saint-Esprit de Kaslik – Liban

PANEL DÉCHETS

Gestion rationalisée des déchets au liban : trois obstacles au niveau institutionnel, financier et social 177

Nada CHBAT

Directrice des relations internationales

Université Libanaise – Liban

Le réseau Libanais de gestion des Déchets à Risque Infectieux (DASRI) ... 191

Dominique SALAMEH

Chef du programme environnement

Arcenciel – Liban

Utilisation des fibres de déchets industriels et de déchets végétales pour renforcer les bétons et les mortiers 201

Issa LABABIDI

Assistant professeur

Faculté de Génie Civil – Université d'Alep – Syrie

PANEL AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE

Impact des carrières abandonnées sur l'environnement au Liban 211

Talal DARWICH

Directeur

Centre de Télédétection – Conseil National de la Recherches Scientifique – Liban

Réhabiliter les carrières du Liban: mission impossible, ou travailler avec et pour le développement 221

Carla KHATER

Chercheur

Centre de télédétection – Conseil National de la Recherche Scientifique – Liban

Vers une charte de territoire durable pour la fédération des municipalités du haut metn 235

Éric BOUVARD

Représentant de la Région Île-de-France

Municipalité de Beyrouth – Liban

PANEL ÉNERGIES RENOUVELABLES

Amélioration de l'efficacité de l'énergie solaire 259

Ahmed ABU HANIEH

Chef de service de génie mécanique

Université de Birzeit – Palestine

PANEL DROIT ET ÉCONOMIE DE L'ENVIRONNEMENT

Évolution et évaluation du droit de l'environnement en Syrie 267

Hiba CHAKAR

Département de l'Urbanisme et de l'Environnement

Université d'Alep – Syrie

L'économie de l'Environnement, une science encore peu développée dans les pays du Machrek 279

Charles ABDALLAH

Économiste

Délégation de l'Union européenne au Liban – Liban

EAU

L'ACCÈS À L'EAU POTABLE, UNE PRÉOCCUPATION MAJEURE DANS LES PAYS DU SUD

Bernard LEGUBE

*Université de Poitiers, Laboratoire de Chimie et Microbiologie de l'Eau – UMR CNRS 6008
École Nationale Supérieure d'Ingénieurs de Poitiers, 1 rue Marcel Doré, 86022 Poitiers
Cedex, France*

INTRODUCTION

L'eau n'est pas une substance simple, contrairement à une croyance millénaire, mais le résultat d'une réaction qui s'est produite dans l'Univers il y a près de quatre milliards d'années. Ce n'est qu'au 18^{ème} siècle que l'anglais Henry CAVENDISH découvre l'hydrogène, puis que le suédois Carl Whilhem SCHEELE et l'anglais Joseph PRIESTLEY découvrent l'oxygène, à quelques mois d'intervalle (ORSENNA, 2008). C'est un français, Antoine-Laurent LAVOISIER, qui découvre la formule chimique de l'eau en brûlant ensemble deux parties de gaz hydrogène et une partie de gaz oxygène (conclusion déposée à l'Académie des Sciences, le 25 juin 1783).

L'eau n'est pas une ressource naturelle épuisable, mais naturellement recyclable puisque c'est toujours la même eau qui « circule » sur terre, avec des périodes plus ou moins longues, de quelques jours en réservoirs conducteurs (atmosphère, cours d'eau), à quelques millénaires en réservoirs accumulateurs (eaux souterraines, océans, glaciers). C'est sa répartition sur le globe qui est inégale et injuste, et le réchauffement climatique ne peut qu'aggraver ce phénomène.

L'eau c'est la vie, mais c'est aussi la mort car près de cinq millions de personnes meurent encore chaque année dans le monde parce qu'elles boivent des eaux impropres à la consommation (OMS et UNICEF 2007). L'accès à l'eau est une priorité. Pourtant, en 2004, plus d'un milliard d'hommes ne disposaient pas d'accès à une eau de boisson provenant d'une source améliorée et, d'ici à 2015, les progrès seront certainement insuffisants et encore trop éloignés des objectifs fixés par les objectifs mondiaux de développement (OMS et UNICEF, 2007).

Parmi les grands défis du 21^{ème} siècle, celui de l'eau est évidemment au premier plan, au même titre que les sols cultivables et l'énergie, comme plusieurs auteurs et média le signalent régulièrement avec probablement trop de catastrophisme dans leur discours. Est-ce un problème de quantité d'eau disponible auquel l'humanité sera confrontée dans les prochaines décennies ? Est-ce plutôt un problème de qualité d'eau qu'il faudra surmonter ?

Certains pays du Sud, déjà dépourvus de ressources suffisantes en eau, connaîtront inévitablement un ralentissement de leur développement lié à l'appauvrissement quantitatif de leurs ressources en eau. Certains autres de ces pays du Sud, « riches » en eau, verront la pollution (déjà très importante) de leurs ressources s'accroître à un niveau tel qu'il sera difficile d'y remédier. Parallèlement, et quelque part indécemment, les pays du Nord économiquement développés seront de plus en plus exigeants sur la qualité de leurs eaux ainsi que sur la sensibilité et le nombre des contrôles à effectuer sur les eaux distribuées et les eaux rejetées dans le milieu récepteur (RODIER et al, 2009).

Cette conférence présente quelques données illustrant ce « conflit Nord-Sud » des usages de l'eau et ébauche certaines propositions de solutions.

LA PLANÈTE VUE DE L'EAU : UN PROBLÈME DE RÉPARTITION DES RESSOURCES ET DES CONSOMMATIONS TRÈS INÉGALES

Un milliard trois cent quatre vingt dix millions de milliards de mètres cubes d'eau sur la planète (soit 1390 millions de km³) : mais dont environ 97,5 % d'eau salée et 2,5 % d'eau douce dont une grande partie inaccessible, parce que gelée (60 %) ou trop profonde (GLEIK, 2000). L'eau douce liquide sur le globe représente plus de 10 millions de km³ alors que les besoins en prélèvements sont estimés à 7000 à 8000 km³ (dont 3/5^{ème} pour l'agriculture) en 2020.

Ce n'est donc pas un problème de quantité d'eau, mais de répartition et d'accès auquel l'Homme est déjà confronté.

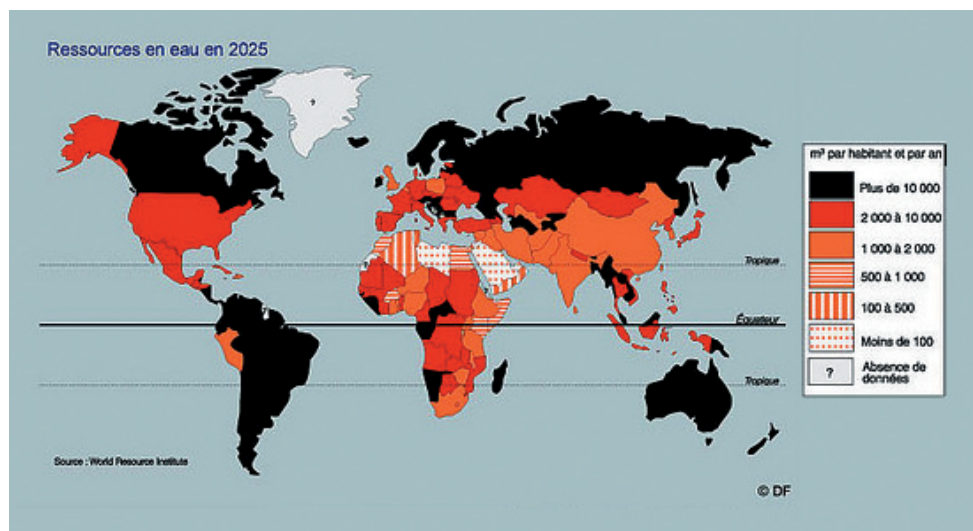


Figure 1 – La répartition mondiale des ressources en eau par habitant et par an, estimée en 2025 (Documentation photographique n° 8014 : De l'eau pour tous, MUTIN, 2000)

La figure 1 montre cette inégalité très nette. Rapportée aux prélèvements ce sera (déjà) catastrophique en 2025 pour l'Afrique du Nord (notamment Tunisie, Lybie, Égypte), le Moyen-Orient et le sud de la CEI où le rapport prélèvements en eau/ressources en eau est actuellement compris entre 50 % et 100 %. Le réchauffement climatique ne peut qu'empirer ce phénomène.

LES USAGES DE L'EAU DOUCE - L'EAU DESTINÉE À LA CONSOMMATION HUMAINE (EAU POTABLE)

Les usages de l'eau

Les usages de l'eau douce sont multiples, usages domestique, agricole, industriel auxquels il faut ajouter l'énergie électrique, les transports, la santé, le tourisme et les sports sans oublier bien évidemment les besoins du milieu naturel (faune et flore aquatique). En France par exemple près de 32 millions de m³ sont prélevés chaque année, dont 18 % pour l'eau potable, 12 % pour l'irrigation, 10 % pour l'industrie et 59 % pour l'énergie.

L'eau destinée à la consommation humaine

La qualité des eaux de boisson est réglementée, entre autres, par des paramètres de qualité. En s'appuyant sur de nombreux travaux de recherche et sur les recommandations de différents groupes d'experts de l'OMS, les pays développés ont défini leur propre réglementation (exemples : Directives européennes, Guidelines de l'US EPA) et les font évoluer régulièrement. Compte tenu des moyens très importants à mettre en œuvre, de nombreux pays en développement préfèrent appliquer directement les recommandations OMS, avec plus ou moins de réussite.

Les paramètres ciblés par ces réglementations sont généralement de quatre types : microbiologiques, organoleptiques, physico-chimiques globaux et chimiques spécifiques. Dans les trois premiers cas, on préfère définir quelques indicateurs relativement simples à mesurer (comme *Escherichia Coli*, turbidité, couleur, pH, température, matières organiques oxydables). Pour les paramètres chimiques spécifiques, c'est près d'une centaine de composés plus ou moins toxiques qui sont visés (composés inorganiques, métaux lourds, pesticides, hydrocarbures aromatiques, composés halogénés, résidus de traitement d'eau, etc.), nécessitant souvent des moyens analytiques puissants et coûteux (RODIER *et al.*, 2009). Le lecteur pourra trouver cette liste, avec les recommandations correspondantes, sur le site de l'OMS (OMS, 2004).

Alimenter les populations en eau potable consisterait donc idéalement à traiter et à distribuer de l'eau qui respecte les recommandations de l'OMS. On est loin de cette idéalité dans les pays du Sud.

Le traitement des eaux destinées à la consommation humaine

Pour atteindre ces objectifs de qualité, un traitement de l'eau est toujours indispensable avant distribution, avec *a minima* une désinfection chimique (chloration dans la plupart des cas).

Les procédés de traitement à appliquer aux ressources d'eau douce naturelle sont très dépendants du type de ressource (eau souterraine, eaux de surface) de leur qualité, de la performance du réseau de distribution et du nombre d'habitants desservis. Ces procédés conventionnels ou

innovants sont parfaitement connus et maîtrisés, ils font appel à la fois à la physique (filtration, décantation, désinfection UV, membrane), à la chimie (coagulation, désinfection chimique) et à la biologie (utilisation de bactéries). L'objet de cette présentation n'est bien évidemment pas de décrire ces procédés. Des informations pourront être trouvées dans la littérature spécialisée (par ex. : LEGUBE et MOUCHET, 2010).

Ce traitement a toutefois un coût qui peut varier dans des rapports importants (de 1 à 10 dans les pays développés) et qui doit être pris en considération, ainsi que le coût de la distribution de l'eau traitée. Faire payer le mètre cube d'eau au consommateur (même partiellement) ne peut que conduire au respect et à l'économie de ce produit, ainsi qu'à la protection de la ressource.

LES PRÉOCCUPATIONS MAJEURES DES PAYS DU SUD : L'ACCÈS À L'EAU POTABLE ET L'ASSAINISSEMENT

Le constat mondial

En 1990, près de 1,2 milliard des 5,3 milliards d'hommes sur terre (soit 22,5 %) n'avaient pas d'accès à une eau de boisson provenant d'une source améliorée. Par ailleurs, les projections actuelles sur le nombre d'habitants sur terre pour les années 2015 et 2025 tendent vers 7,2 et 8 milliards respectivement, avec une augmentation très significative de la consommation d'eau par individu (augmentation de l'ordre de 40 % entre 2006 et 2030) et une inégalité de plus en plus grande de la répartition géographique des ressources en eau (cf. § 2 ci-dessus).

Face à cette situation, la Communauté Internationale se mobilise, notamment lors de l'assemblée générale des Nations Unies en septembre 2000, afin d'intégrer les principes du développement durable dans les politiques nationales, d'inverser la tendance de la dégradation des ressources naturelles et de réduire de moitié d'ici 2015 le pourcentage de la population mondiale qui n'a pas accès de façon durable à un approvisionnement en eau potable. De récents bilans, basés sur les projections les plus optimistes, tendent à montrer que 12,7 % de la population mondiale n'aura pas accès à une eau de boisson en 2015 au lieu des 11 % prévus par l'OMD (Fig. 2).

Années	Population totale	Population non desservie (%)	Population desservie
1990	5 279 millions	1 187 millions (22,5 %)	4 092 millions (77,5 %)
2004	6 389 millions	1 069 millions (16,7 %)	5 320 millions (85,3 %)
2015 (projections)	7 219 millions	919 millions (12,7 %)	6 300 millions (87,3 %)
2015 (OMD)	7 219 millions	794 millions (11 %)	6 425 millions (89 %)

Figure 2 – Données mondiales sur l'accès à l'eau de boisson provenant d'une source améliorée (OMS et UNICEF, 2007 - OMD)

Les régions en développement sont bien évidemment les plus dépourvues d'accès à l'eau de boisson. Ce sont entre 70 et 80 % de ces populations qui ne sont pas desservies à domicile, dont 84 % habitent en zone rurale.

Un constat similaire, voire plus préoccupant, peut être fait en matière d'assainissement puisqu'en 2015 seulement 33 % de la population mondiale aura accès à un assainissement de base, alors que l'objectif OMD était de 25 %.

Les préoccupations des pays du Sud en matière d'eau de boisson

Ce sont les pays du Sud qui sont les plus atteints, puisqu'environ 80 % de la population non desservie en eau de boisson provenant d'une source améliorée est concentrée dans quatre régions du Monde : l'Afrique sub-saharienne, l'Asie de l'Est, l'Asie du Sud et l'Océanie.

Disposer de ressources en eau suffisantes

La préoccupation majeure est, pour les pays du Sud, de disposer de ressources en eau quantitativement suffisantes et de pouvoir les capter.

La solution des barrages n'est pas toujours idéale pour l'environnement, pour les déplacements de populations et pour la santé publique (paludisme par exemple), sans compter les besoins énormes de financements. Toutefois, outre la fourniture en eau à potabiliser qu'ils procurent, les barrages peuvent être aussi bénéfiques pour l'environnement

(remontée de sel, régulation des crues) et offrent des possibilités certaines pour l'irrigation et la production d'énergie.

Parmi les autres solutions à fort débit, il faut citer également le dessalement d'eau de mer et d'eau saumâtre. Les procédés à membrane (comme l'osmose inverse) sont actuellement en développement continu et offrent aujourd'hui des possibilités énormes mais très coûteuses.

D'autres solutions moins « ambitieuses » mais vraiment utiles pour les zones rurales peuvent être citées, comme la multiplication des forages en eau souterraine équipés de pompes solaires, la récupération des eaux de pluie, la distillation des eaux de mer par énergie solaire, les filets à brouillards, etc.

Traiter et (surtout) désinfecter l'eau destinée à la consommation humaine

Désinfecter l'eau correctement après l'avoir débarrassée de ses microorganismes pathogènes, de sa turbidité, de ses principales substances dangereuses (éléments chimiques toxiques) et de ses propriétés organoleptiques les plus marquées, est une autre préoccupation importante.

L'eau captée ne peut généralement pas être consommée directement, elle doit être traitée. Trop d'humains (dont beaucoup d'enfants) meurent chaque année à cause d'une alimentation en eau de boisson de mauvaise qualité ; la désinfection chimique (ou physique) en production, puis chimique en réseau de distribution est indispensable.

Une bonne désinfection chimique implique toujours un maintien d'une certaine concentration en réactif désinfectant (chlore par exemple) pendant un certain temps, mais cette concentration et ce temps dépendent des types de microorganismes pathogènes présents et du désinfectant chimique utilisé. De plus, l'eau à traiter peut contenir, d'une part, des matières organiques et minérales qui consomment rapidement le désinfectant chimique (qui devient alors inactif vis à vis des bactéries et virus), et d'autre part, de la turbidité qui protège les microorganismes du désinfectant (spores, biofilms ...). Il est donc nécessaire de débarrasser l'eau de sa turbidité (par décantation, filtration) et de ses éléments consommateurs de désinfectants (par traitement physico-chimique, filtration biologique ou adsorption).

Ces opérations peuvent être effectuées à une échelle industrielle, voire semi collective ou individuelle. Les techniques sont connues et pas toujours très coûteuses. Il en est de même pour débarrasser l'eau de certains éléments très toxiques (arsenic par exemple).

Distribuer l'eau potable

La préoccupation qui suit logiquement le captage et le traitement de l'eau de boisson est sa distribution, si possible jusqu'au domicile, ainsi que la contrôle de sa qualité et son comptage.

Combien de grandes villes de pays du Sud captent et produisent des eaux de qualité pour la consommation humaine, alors que ces eaux ne sont pas consommables au robinet. C'est très souvent un problème de réseau qui présente des fuites (la moitié du débit produit, voire plus, se « perd »), consomme le résiduel de désinfectant, développe des corrosions et autre dissolution ou entraînement de matériaux, tout en servant de « niches » bactériennes (biofilms) qui contaminent l'eau distribuée.

De plus l'eau potable a un coût. C'est une illusion de penser que l'eau potable doit être gratuite comme l'air que l'on respire. Un prix du mètre cube doit être appliqué (et ce d'autant plus élevé que la consommation est importante), même si ce prix est adapté au pouvoir d'achat du consommateur et s'il est fortement subventionné, notamment dans les pays en développement. L'eau consommée doit donc être comptabilisée. « Le compteur d'eau est le meilleur ami de l'homme : il lui indique que l'eau arrive à son domicile ... il lui rappelle la rareté de l'eau ... » (ORSENNA, 2008).

Assainir les eaux usées

Équiper les populations urbaines et rurales en assainissement a minima de base (les eaux pluviales comprises) et les éduquer pour utiliser ces dispositifs est indispensable.

Certains pays du Sud, « riches » en ressource en eau (Asie du Sud et du Sud-Est, Amérique du Sud...) verront la pollution (déjà très importante) de leurs ressources s'accroître à un niveau tel qu'il sera difficile d'y remédier et, par suite, d'utiliser ces ressources pour faire de l'eau potable

à coût modéré. Toutes formes d'assainissement, (collectif, semi collectif et individuel), artificiel ou naturel, doivent être développées.

LES PRÉOCCUPATIONS DES PAYS DU NORD : LA QUALITÉ DES EAUX ET LES CONFLITS D'USAGE

Quelque part indécemment, les pays du Nord économiquement développés sont de plus en plus exigeants sur la qualité de leurs ressources en eau et sur celle des eaux de consommation. Les préoccupations de ces pays sont aujourd'hui bien plus avancées que celles des pays du Sud, l'eau potable étant depuis longtemps accessible à la totalité de la population et l'assainissement étant presque totalement généralisé.

Les principales préoccupations des pays du Nord sont les suivantes :

- généraliser une protection accrue des ressources avec une réglementation sévère et une police de l'eau « agressive » ce qui engendre un coût élevé pour les usagers ;
- gérer les conflits d'usage, notamment en zone rurale avec une agriculture intensive ;
- faire évoluer constamment la réglementation sur la qualité de l'eau potable en relation avec l'évolution de la sensibilité, la diversité et le nombre des contrôles analytiques ;
- développer les recherches sur les méthodes analytiques, sur les tests de toxicité et d'écotoxicité et sur les techniques de traitement et d'épuration principalement en vue d'une réutilisation des eaux usées et du dessalement des eaux ;
- informer, éduquer et organiser les consommateurs et les usagers de l'eau en général, pour une meilleure utilisation et protection des ressources en eau ;
- convaincre les pouvoirs politiques nationaux et internationaux de mettre en place des moyens financiers notamment pour aider les pays en développement.

CONCLUSION

« L'eau c'est la vie » est un slogan bien connu, mais n'oublions pas que près de cinq millions de personnes meurent encore chaque année dans le monde parce qu'elles boivent des eaux impropres à la consommation (OMS et UNICEF 2007).

« L'accès à l'eau de boisson saine est une condition indispensable à la santé, un droit humain élémentaire et une composante clé des politiques efficaces de protection sanitaire » (OMS, 2004). Cette condition indispensable, ce droit humain élémentaire ne sont pas respectés dans de nombreux pays du Sud. D'énormes efforts sont nécessaires, surtout si on inclut l'eau pour l'agriculture chargée de nourrir, dans un futur proche, neuf milliards d'habitants.

Un progrès planétaire est indispensable. Apprendre à se répartir l'eau impose de mettre en place des parlements de l'eau, sortes d'agences de l'eau (à la française) internationales pouvant contribuer financièrement aux équipements faramineux nécessaires de collecte de ressources, de traitement de l'eau et de distribution jusqu'au domicile. Investir dans l'eau est investir dans l'avenir de la planète. Ne prenons pas le risque d'un conflit Nord/Sud sur la question de l'eau.

BIBLIOGRAPHIE

GLEIK, Peter (2000). *The world's water 2000-2001*. Island Press, 2000, Washington.

LEGUBE, Bernard (1996). *Le traitement des eaux superficielles pour la production d'eau potable*. Edité par l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne, 198 pages.

LEGUBE, Bernard, MOUCHET, Pierre (2010). *Eaux de distribution : Filières de traitement*. Techniques de l'Ingénieur, W 5 5510, 18 pages.

MUTIN, Georges (2000). *De l'eau pour tous* (dossier n° 8014). La documentation Française, 2000, Paris, 64 pages.

OMS (2004). *Guidelines for drinking water quality*. 3rd edition, volume 1 (recommandations), 2004, Genève.

OMS et UNICEF (2007). *Atteindre l'OMD relatif à l'eau potable et à l'assainissement ; le défi urbain et rural de la décennie*.

ORSENNA, Eric (2008). *L'avenir de l'eau*, Fayard, 2008, Paris.

RODIER, Jean, LEGUBE, Bernard, MERLET, Nicole (2009). *L'analyse de l'eau*, Dunod, 2009, Paris, 1526 pages.

IMPACTS D'UN RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE POTENTIEL SUR LA NEIGE AU LIBAN

Antoine HREICHE, Claude BOCQUILLON, Wajdi NAJEM

RÉSUMÉ

L'alimentation en eau des agglomérations et des périmètres irrigués au Liban dépend pour une large part des fleuves, dont le régime est pluvio-nival. Un changement climatique aurait un effet notable à la fois sur l'écoulement annuel total, mais aussi sur le régime des débits, en particulier sur la sévérité des étiages. Les conséquences d'un éventuel changement climatique ont été analysées au moyen des simulations obtenues avec un modèle de transfert climat-débit comprenant un module neige, soumis à divers scénarios de changement climatique. Ce modèle climat-débit a été développé spécifiquement pour le Liban. Ce présent travail a pour objet la recherche de l'impact d'un réchauffement dans des hypothèses de 2 et de 4 °C sur le couvert neigeux sur l'ensemble du territoire libanais et les conséquences éventuelles sur la répartition des disponibilités.

Un réchauffement climatique aurait un impact majeur sur l'enneigement et le déroulement chronologique des apports, en raison d'une baisse de la fraction neigeuse de précipitation et de l'augmentation du taux de renouvellement. Ces changements pourraient avoir un grand impact sur la gestion des ressources en eau dans le futur.

INTRODUCTION

Une des questions les plus importantes et aussi des plus difficiles qui se pose aux hydrologues actuellement est : quels impacts sur la disponibilité en eau, sur l'environnement, et sur le développement vont provoquer les changements climatiques, en particulier le réchauffement global ?

Les conséquences de changements climatiques sur les processus hydrologiques et les ressources en eau au niveau régional et local sont particulièrement importantes, surtout dans les régions géographiques où la ressource en eau est le facteur limitant au développement.

L'élévation de la température sous l'effet de l'action de l'homme sur la composition atmosphérique, paraît un phénomène bien établi. Les hypothèses les plus couramment admises comportent une élévation de 0.13 °C par an. Ces estimations sont en général basées sur l'application des modèles de circulation générale (GCM). Peu d'analyses ont été faites sur le bassin méditerranéen. RAGAB et PRUDHOMME (2002) ont élaboré des cartes de changement de la température et de la pluie sur l'ensemble du bassin méditerranéen ; ils montrent pour 2050 et 2100 un accroissement de température de 2 à 4. Nous retiendrons ces évolutions de référence, avec une grande incertitude sur les dates auxquelles ces seuils seront atteints. Mais cette moyenne masque des variations significatives dans la répartition régionale avec tantôt des augmentations tantôt des baisses, des variations interannuelles incertaines, des évolutions saisonnières diverses.

L'incidence d'une telle augmentation est particulièrement forte sur les mécanismes à seuil thermique, comme la fusion de la neige et de la glace. Son impact est déjà visible sur les glaciers et les calottes polaires, ce qui constitue la meilleure preuve du réchauffement climatique (HAEBERLI W. et BENISTON M., 1998), (OERLEMANS J., 1994). Les modèles climatiques prévoient une réduction des masses glacières de 25 % pour 2 °C de réchauffement (2050) et de 50 % pour 4 °C (2100) (DYURGEROV. M., et MEIER M., 1997) (FITZHARRIS, 1996). Cette réduction est très inégalement répartie dans le monde, en raison des variations simultanées des précipitations et des températures. Dans certaines régions du globe, les augmentations de précipitations peuvent compenser l'accroissement de fusion lié au réchauffement, ce qui provoque une augmentation des glaciers (OERLEMANS J., 1994). Dans les régions où la variation des précipitations est faible, l'influence de la température est prépondérante et la disparition des surfaces enneigées peut être rapide, (BROW R.D., 2000) (HODGE S.M, et *al.*, 1998).

Le pourcentage de neige dans le total des précipitations en Nouvelle Angleterre a décru de 1950 à 2000 au sud du 55^{ème} parallèle, mais est resté pratiquement constant au-dessus (BROW, 2000).

Les couverts neigeux jouent un rôle important dans les régimes des cours d'eau, avec, en général un rôle régulateur sur les écoulements (HREICHE, 2007). Les variations de couverture neigeuse ont pu être analysées grâce aux images de télédétection, et mises en relation avec les variations de précipitation et de température. (KARL T.R, *et al.*, 1993). Dans la région méditerranéenne, le 32^{ème} parallèle marque la fin des couvertures neigeuses notables (annuelles et durables) avec le Mont Liban et le sud de l'Atlas Marocain. On comprend immédiatement les raisons d'une grande sensibilité à un réchauffement climatique, qui peut être assimilé à un léger abaissement de la latitude.

Le présent travail a pour objet la recherche de l'impact d'un réchauffement dans des hypothèses de 2 et de 4 °C sur le couvert neigeux sur l'ensemble du territoire libanais et les conséquences éventuelles sur la répartition des disponibilités.

LE CONTEXTE LIBANAIS

Contexte géographique

Le Liban est positionné en latitude aux marges nord des déserts arabo-sahariens et sud de la zone tempérée. Sa façade est à l'ouest du domaine continental où se rencontrent les trois continents, bordée à l'ouest, non par le plein océan mais par une mer semi-fermée subtropicale (relativement chaude). Le Liban est caractérisé par la présence de deux chaînes montagneuses (Liban et Anti-Liban) qui se dressent parallèlement à la côte orientale de la Méditerranée. La disposition du relief joue un rôle très important dans la répartition spatiale de la pluviométrie et de l'enneigement.

Contexte climatique

Compte tenu de la diversité topographique, le climat varie considérablement d'une région à l'autre. Mais, d'une façon générale, le Liban bénéficie d'un climat méditerranéen, avec environ 300 jours de soleil par an. Il ne pleut pratiquement jamais entre juin et septembre.

En juillet et en août, la température frôle les 30 °C à basse altitude. Les hivers sont relativement doux sur la côte, mais assez rudes en montagne avec d'importantes chutes de neige. Dans les plaines, la chaleur sèche de l'été succède à des hivers frais et pluvieux, mais les montagnes bénéficient d'un climat alpin.

LE COUVERT NEIGEUX AU LIBAN

Chaque année sur le Mont Liban, il peut neiger à partir de 1000 mètres, et aux altitudes plus élevées, entre 1700 et 3000 mètres, le couvert neigeux persiste dans son intégralité pendant à peu près trois mois. Lorsque cette neige fond au printemps et durant tout l'été elle participe, avec un certain retard sur les pluies d'hiver, à l'alimentation de la quasi-totalité des cours d'eau du Liban.

La mobilisation des ressources en eau dépend donc fortement de la quantité d'eau immobilisée sous forme de neige, de l'équivalent en eau du manteau neigeux, mais aussi du régime de fonte imposé par les températures des masses d'air qui circulent au-dessus du Mont Liban à partir du printemps. Ainsi sont mis en jeu des aspects du climat à une échelle qui dépasse celle du Liban : les températures et l'humidité des masses d'air qui arrivent à l'Est de la Méditerranée, le climat local de montagne qui provoque la chute de neige et conditionne sa répartition en surface puis sa fonte. Les caractéristiques géologiques et géomorphologiques du Mont Liban sont, elles aussi, importantes : il en va du cheminement souterrain ou superficiel des eaux de fonte. Pour aborder ce problème, et compte tenu du fait que les données publiées sur la neige au Liban sont quasi inexistantes, le Centre Régional de l'Eau et de l'Environnement de l'Université Saint-Joseph a lancé un programme scientifique en deux parties :

- La première partie a consisté à instrumenter le haut bassin du Nahr El Kelb pour déterminer les caractéristiques physiques de la neige, sa répartition en surface et l'épaisseur du manteau neigeux.
- La deuxième partie est la conception d'un modèle de fonte qui rend compte du débit des sources de montagne.

LE MODÈLE D'ÉVOLUTION DU COUVERT NEIGEUX

La surface enneigée évolue en fonction de deux facteurs :

- La nature des précipitations, qui peuvent être sous forme de pluie ou de neige. Si la température en permet le maintien, le manteau neigeux va s'étendre et s'épaissir.
- Le bilan énergétique, qui peut provoquer la fusion d'une certaine épaisseur du manteau. Ces deux facteurs sont liés aux conditions locales de précipitation et de température.

Le Liban est un territoire de faible étendue (environ 10.000 Km²) présentant un relief très important : 50 % de sa superficie dépasse 1000 mètres et 10 %, 2000 mètres. L'altitude est le facteur principal de détermination des variables climatiques (pluie, température,...). À un instant donné, et en première approximation, à une même altitude, précipitation et température sont les mêmes. Faute de mesures spatialisées en altitude cette hypothèse sera retenue, avec des gradients pluviométriques et thermométriques supposés constants. En conséquence, l'épaisseur du manteau neigeux sera la même à la même altitude, et en particulier la ligne de manteau nul ou « ligne de neige ».

Le modèle ponctuel d'évolution du manteau neigeux

En un site d'altitude donnée, l'évolution du manteau neigeux peut être suivie simplement par une équation de bilan sur 1 m² basé sur le modèle degré-jour. Un modèle ponctuel d'évolution du manteau neigeux a été développé (HREICHE, 2007). Les valeurs des divers paramètres ont été déterminées lors des campagnes de mesures menées en 2000 et 2001 par J.O. JOB. Le modèle ponctuel représente le fonctionnement d'une parcelle isolée dans des conditions de forçage déterminées. Il est couramment admis et il a été vérifié durant les campagnes de mesures que l'interaction entre les parcelles est faible, contrairement au cas du bassin versant. Des tranchées faites sur l'épaisseur de la couche neigeuse, montre, dans les conditions locales une faible percolation. La neige au Liban a une très haute densité, et le tapis neigeux se révèle comme quasi imperméable. Ceci a été confirmé par des traçages isotopiques. Ainsi, l'eau résultant de la fonte de la neige va

ruisseler et s'infiltrer dans les zones déneigées. Ceci permet de considérer que les diverses parcelles fonctionnent en parallèle, et qu'un modèle global est simplement constitué d'une intégration des modèles ponctuels répartis spatialement. Cette intégration dépend de la nature des données spatialisées disponibles. En raison de l'absence de données spatialisées, une modélisation conceptuelle distribuée a été retenue. Cette modélisation est à une seule dimension dans l'hypothèse où les variables sont distribuées en fonction de l'altitude.

Le modèle distribué

Le Liban a été découpé en tranches de 100 mètres d'altitude à partir de la courbe hypsométrique au-dessus de 1000 m. Chaque tranche a une surface $\delta(n)$, sur laquelle est appliquée une pluie et une température moyenne. Le suivi de la hauteur de neige est indépendant de la zone territoriale. Cette hauteur représente un transect altitudinal moyen du suivi neigeux. Cette représentation est générique, en ce sens que l'évolution du couvert sur un bassin quelconque peut être obtenue en distribuant le modèle ponctuel en fonction de l'hypsométrie du bassin. Les variables d'entrée dans le modèle sont constituées par des répartitions de la pluie et de la température, à partir d'une pluie et d'une température de référence au niveau de la mer, auxquelles sont appliquées des gradients constants avec l'altitude : $\text{grad}p$ et $\text{grad}T$. Ce modèle conceptuel distribué dépend de cinq paramètres. Une analyse de sensibilité a été faite pour définir leur importance relative vis-à-vis d'un calage ou du choix de la valeur moyenne.

Différentes variables ont été calculées pour l'ensemble du territoire libanais pour les années 2000 et 2001 pour lesquelles des mesures sont disponibles, ainsi que pour 100 ans de simulation de données climatiques.

La validation du modèle

Le modèle global a été validé à partir des mesures effectuées durant les campagnes 2000, 2001 et 2002 sur la région du Mont Liban. La concordance est bonne, compte tenu de l'incertitude sur la définition de cette ligne. Ces résultats ont été confirmés par l'examen des surfaces enneigées obtenues par télédétection à partir des images.

Le modèle de génération du climat

Le modèle d'évolution du couvert neigeux a besoin comme entrée de la précipitation. La simulation sur des données historiques permet de se rendre compte des effets d'un réchauffement, mais la série est trop courte pour tirer des conclusions statistiques. Un modèle de génération climatique a été mis au point pour le Liban, qui comporte :

- Un modèle de génération de pluie, (NAJEM et CATAFAGO, 1976 ; HREICHE, 2003). Les états journaliers pluvieux et non pluvieux sont représentés par un modèle Markovien du 1^{er} ordre.
- Le modèle de génération de température (HREICHE, 2006) : Ce modèle a été développé sur les données de température à Beyrouth, et il a été appliqué sur les bassins considérés en tenant compte du gradient thermique et des courbes pluviométriques.

ANALYSE DES RÉSULTATS DES SIMULATIONS

Évolution de la ligne de neige

La distribution de l'altitude minimum obtenue à partir de 100 années simulées est présentée figure 1. Sur toute la distribution, l'altitude minimum monte de 100 mètres par degré de réchauffement. La médiane (altitude atteinte 1 an sur 2), qui est à l'heure actuelle de 1500 mètres passe à 1770 mètres avec plus 2 °C et à 1900 avec plus 4 °C.

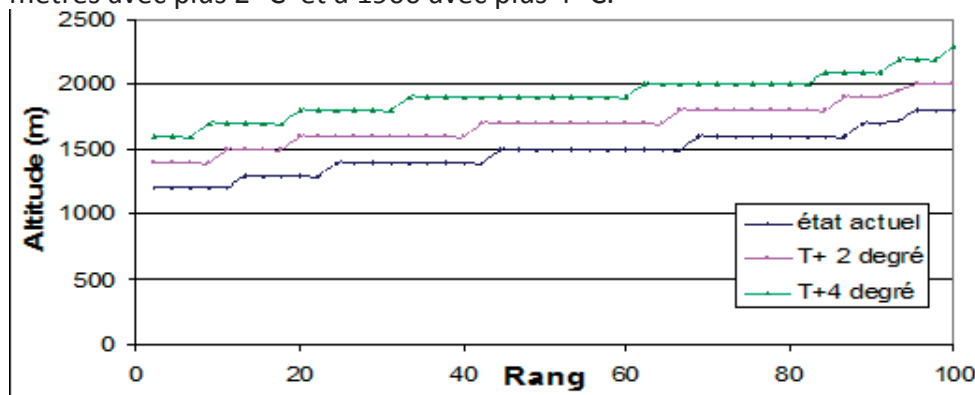


Figure 1 - Altitudes minima classées de la ligne de neige

DURÉES D'ENNEIGEMENT

Les durées d'enneigement ont été analysées à deux altitudes : 2000 et 2500 mètres qui correspondent aux altitudes des stations de ski actuelles. Les figures 2 et 3 montrent la distribution des valeurs obtenues pour le nombre de jours d'enneigement, avec 100 ans de simulation. A 2000 mètres, la saison d'enneigement diminue d'environ 70 jours pour un réchauffement de 2 °C. La médiane fait passer d'une durée de 125 jours en l'état actuel à 50 jours environ. Avec un réchauffement de 4 °C, la présence de neige à 2000 mètres devient exceptionnelle. A 2500 mètres, la saison est moins affectée. Les différences de durées sont assez stables : 20 jours de raccourcissement par degré. La médiane passe de 200 jours à 160 pour 2 °C et à 120 pour 4 °C. Globalement, quelle que soit l'altitude, la saison d'enneigement est raccourcie de 20 à 25 jours par degré de réchauffement.

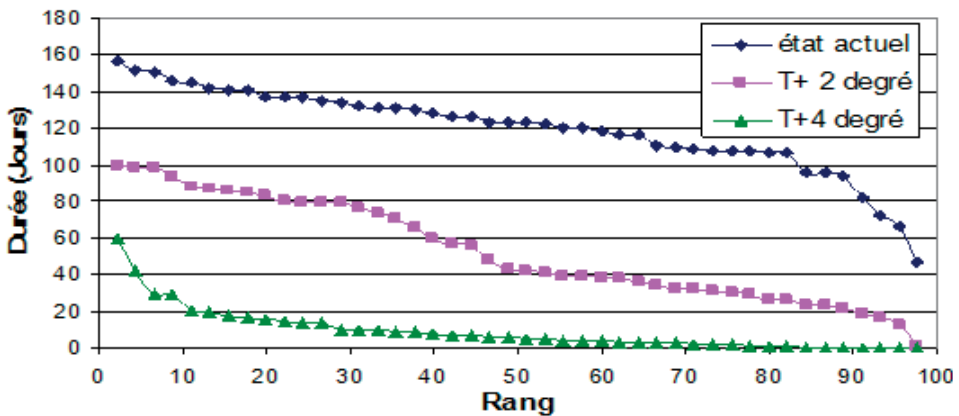


Figure 2 - Durées d'enneigement classées à 2000 mètres.

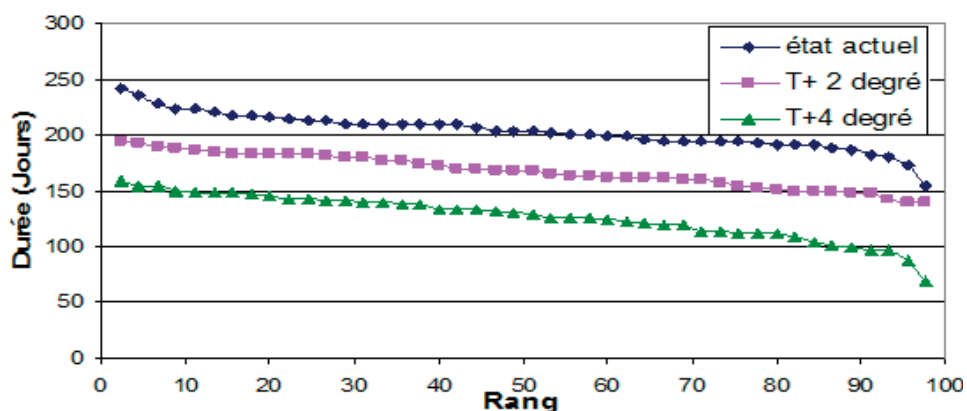


Figure 3 - Durées d'enneigement classées à 2500 mètres

Surfaces enneigées

Les surfaces enneigées correspondent aux positions des lignes de neige. La figure 4 montre les surfaces enneigées maxima classées pour 100 ans. La diminution de surface est importante. La médiane passe de 2600 km² à 1800 avec un réchauffement de 2 °C et à 1250 pour 4 °C, soit une baisse d'environ 15 % par degré. Ces valeurs moyennes cachent des répartitions très inégales, en liaison avec chaque courbe hypsométrique locale. Cette baisse est beaucoup plus forte au Liban Sud, qu'au Liban Nord. Pour une analyse détaillée, il est nécessaire de faire la simulation pour chaque bassin.

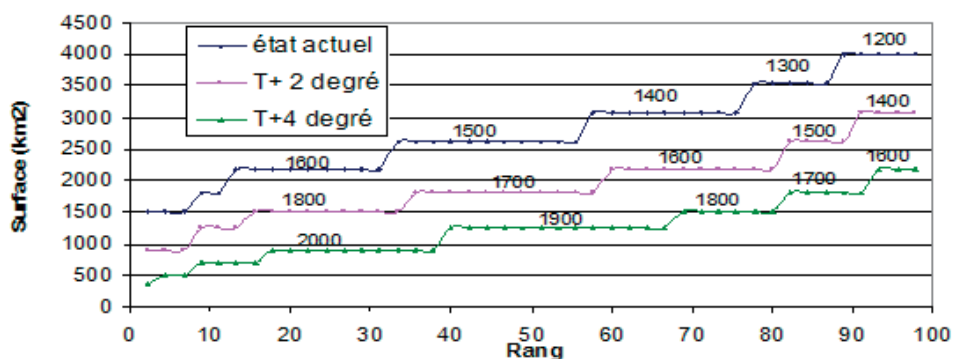


Figure 4 - Surfaces enneigées maxima classées

Volume du stock neigeux

La connaissance des hauteurs de neige (en équivalent d'eau) par tranches d'altitude, permet d'évaluer les volumes d'eau du stock neigeux. La figure 5 montre l'évolution des stocks maxima classés pour 100 ans de simulation. La baisse est sensiblement proportionnelle aux diverses probabilités, avec une baisse de 30 % pour 2 °C et de 70 % pour 4 °C. La chute du volume d'eau stockée est spectaculaire. La réduction du volume cumule les diminutions des surfaces enneigées et des hauteurs de neige.

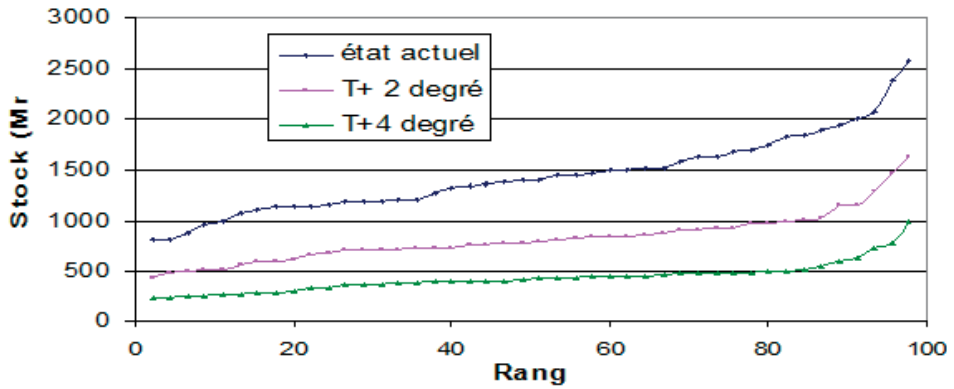


Figure 5 - Volumes maxima classés

CONCLUSION

Les impacts les plus graves liés aux changements climatiques sont leurs effets sur le cycle de l'eau et les cycles associés avec leurs répercussions sur les systèmes socio-économiques. Les modèles de changements climatiques envisagent pour le Liban une faible modification de la pluie (quelques %), et une augmentation de la température de l'ordre de 1,6 °C à l'horizon 2050. Le Liban, qui reçoit une part importante de ses précipitations sous forme de neige (28 %), a un régime hydrologique régulé par le mécanisme de stockage et de fusion de celle-ci. Un réchauffement climatique aurait un impact majeur sur l'enneigement et le déroulement chronologique des apports, en raison d'une baisse de la fraction neigeuse de précipitation et de l'augmentation du taux de renouvellement. Cette dernière augmentation est l'indicateur d'une fusion de neige accrue durant la période de chute.

Les conséquences socio-économiques du réchauffement climatique actuel, et qui fait l'objet d'un consensus scientifique, sont multiples :

- Au niveau du couvert neigeux avec une diminution très importante des surfaces enneigées et des durées d'enneigement et l'impact prévisible sur les saisons touristiques des stations d'altitude.
- Au niveau de l'alimentation en eau avec une saison de pénurie plus sévère et allongée de près d'un mois.

Cette étude a un double objectif :

- Du point de vue scientifique : développer des outils performants de prévision et de simulation de l'évolution des caractéristiques hydrologiques en liaison avec les perspectives d'évolution du climat et susceptibles d'être appliqués de façon plus détaillée bassin par bassin, avec leurs caractères spécifiques.
- Du point de vue opérationnel : diffuser l'information auprès du public et des responsables de la planification et de la gestion de l'eau, afin qu'ils puissent intégrer la dimension du risque liée au changement climatique dans leurs stratégies d'aménagement et d'investissement.

RÉFÉRENCES

BROWN, R.D., 2000. Northern Hemisphere snow cover and change. *J. CLIM.* 13, 2339-2355.

CATAFAGO, S.NAJEM, W. (1976) : Contribution à l'étude de la pluviométrie Libanaise. Thèse de Doctorat Université des sciences et techniques du Languedoc. Montpellier, France.

DYURGEROV, M.B., and M. MEIER. 1997. Mass balance of mountain and subpolar glaciers: A new global assessment for 1961-1990, *Arctic and Alpine Research*, 29 (4), 379-391.

FITZHARRIS, 1996. The cryosphere: Changes and their impacts. In *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*, (Eds J. T. HOUGHTON, L. G. M. FILHO, B.A. CALLANDER, N. HARRIS, A. KATTENBERG, and K. MASKELL), 241-265, Cambridge University Press, Cambridge, UK.

HAEBERLI, W., and BENISTON. 1998. Climate change and its impacts on glaciers and permafrost in the Alps. *Ambio* 27, 258-265.

HODGE, S.M., D.C. TRABANT, R.M. KRIMMEL, T.A. HEINRICHS, R.S. MARCH, and E.G. JOSBERGER, 1998. Climate variations and changes in mass of three glaciers in western North America. *Journal of Climate* 11 (9), 2161-2179.

HREICHE, A. (2003) : Modélisation conceptuelle de la transformation pluie-débit dans le contexte méditerranéen. Thèse de Doctorat Université Saint-Joseph.

HREICHE, A., BOCQUILLON C. & NAJEM W. (2006) River flow simulation within ungauged catchments in Lebanon using a semi-distributed rainfall-runoff model. In: *Summit on Environmental Modelling and Software (Proc. iEMS Third Biennial Meeting)* (ed. by A. VOINOV, A. JAKEMAN & A. Rizzoli).

HREICHE, A., BOCQUILLON C. & NAJEM W. (2007) Hydrological impact simulations of climate change on Lebanese coastal rivers Hydrological Sciences–Journal–des Sciences Hydrologiques, 52(6) December 2007 Special Section: Dryland Hydrology in Mediterranean Regions.

KARL, T.R., GROISMAN, P.Y., KNIGHT, R.W., HEIM, R.R., 1993. Recent variations of snow cover and snowfall in North America and their relation to precipitation and temperature variations. J.CLIM. 6, 1327-1344.

KARL, T.R., TRENBERTH, K.E., 2003. Modern global climate change. Science 302, 1719-1723.

OERLEMANS, J., 1994. Quantifying global warming from the retreat of glaciers. Science 264, 243-245.

RAGAB, R., PRUDHOMME, C., (2001): Climate Change and Water Resources Management in Arid and Semi-arid Regions: Prospective and Challenges for the 21 st Century.

LE LAC JABBOUL EN SYRIE : VERS UN DÉVELOPPEMENT DURABLE PROBLÈMES DE POLLUTIONS CROISSANTES ET PERSPECTIVES D'AMÉNAGEMENT RÉGIONAL

Hayat TOUCHAN & Salim BADLISSI

Équipe Eau & Développement / Université d'Alep

INTRODUCTION : POURQUOI S'INTÉRESSER AU LAC JABBOUL ?

Le lac Jabboul est un lac fermé salé qui se situe à 40 km à l'Est d'Alep. Il est l'un des plus grands lacs salés au niveau régional et un des plus riches sites géographiques en biodiversité en zone semi-aride. Le lac Jabboul fut déclaré réserve naturelle écologique en Syrie le 14 octobre 1997, et fut inscrit sur la liste des « terres humides d'importance internationale » selon la convention on *wetland* « RAMSAR » le 5 mars 1998 (NASSER AGHA 2009). Cette convention vise à la conservation des terres humides et à son utilisation rationnelle à travers les politiques nationales et la coopération internationale comme moyen de réaliser le développement durable dans toutes les régions du monde. L'importance actuelle du lac Jabboul est due à une biodiversité riche en espèces végétales et animales, certains oiseaux migrateurs se sont sédentarisés.

Historiquement, le lac Jabboul était alimenté en eau par des rivières saisonnières et de faibles précipitations hivernales. La plus grande partie du lac se tarissait en été et une grande quantité de sel était prélevée et commercialisée.

Plusieurs changements ont eu lieu après la construction du barrage de l'Euphrate et la réalisation des projets d'irrigation dans la région de Jabboul et ses environs et l'alimentation hydrique continue du lac par les eaux de drainage à partir de 1976. Ceci a engendré des conséquences importantes sur le lac et sa région. Le lac ne s'ensèche plus ; il est devenu ainsi de plus en plus vaste atteignant 26 200 ha (262 km²).

Ainsi, les particularités naturelles et les énormes potentialités de cette région, permettent désormais de réaliser divers projets de développement concernant la société locale dans tous les domaines allant de l'agriculture, du pâturage et élevage, de la pisciculture, de l'industrie, de l'artisanat et

surtout du tourisme notamment pour créer un grand centre d'écotourisme avec un parc ornithologique. Cependant les pollutions que subissent la région sont inquiétantes et menacent l'environnement et sa biodiversité et par conséquent les activités actuelles et potentielles (AZEZI 2009).

APERÇU HISTORIQUE

Le lac Jabboul s'est formé à l'époque Pliocène il y a environ un million d'années où cette dépression est devenue un centre d'accumulation de sédiments, d'alluvions et des sels provenant des eaux souterraines et de surface. Durant les périodes historiques, le lac fut connu sous le nom de sebkha d'Al-Jabboul référence à la salure de ses eaux et son dessèchement durant les mois d'été, un climat continental sec et chaud, laissant de grandes quantités de sel. Ceci résulte de la forte concentration salifère (200 à 230 g/l) dans les eaux souterraines proches de la surface (0,5 à 1m de profondeur) (KASMO 2004). En hiver, s'y drainent naturellement et les eaux de pluies et des torrents du bassin versant « Al-Jabboul » ayant une superficie de 4512 km². Les plus importants cours d'eau qui se jettent dans le lac sont : le fleuve Az-Zahab, l'Abou-Gorr et le Milh (de sel). À ceux-ci s'ajoutent les eaux de vallées du Sud-Ouest qui proviennent des montagnes Al-Hoss ainsi que les eaux de pluies et d'autres torrents (NASSER AGHA 2009). Le lac tarit en été, cependant dans la partie sud du lac, où se jette la vallée d'Abou-Gorr, l'eau reste sur une superficie de 3000 ha, appelée la Sebkha de Rasm Ar-Rawam, car cet endroit se situe en dessous du niveau du lac. Le niveau moyen de leur surface d'eau est de 311,5 absolu. Il s'élève à 212,5 à certains endroits. Dans le Nord-Ouest du lac, le niveau descend à 310,4 - 310,5 entraînant une plus grande concentration de sel. C'est près de cet endroit qu'ont été établies les installations pour l'extraction et l'exploitation du sel (KASMO 2004).

Pendant des siècles, la production du sel au Jabboul était considérée comme l'une des plus célèbres au Proche-Orient. De grandes quantités de sel de table étaient extraites, commercialisées et vendues dans beaucoup de pays de Sham et de Djézireh (Syrie naturelle et Mésopotamie) comme le souligne Yakout Al Hamwi dans son « Livre des pays » achevé en 1228.

Pendant la période ottomane, l'extraction, l'exploitation et

la commercialisation du sel ont été organisées par une direction gouvernementale qui a été créée spécialement pour cette activité. Des constructions furent érigées pour servir de siège pour l'administration et des logements de fonctions pour l'encadrement à côté des installations d'extraction du sel. Ces belles constructions existent toujours. Elles sont utilisées jusqu'à nos jours par la direction gouvernementale qui supervise et contrôle la production et la commercialisation du sel. Cette activité fournissait au trésor public syrien des revenus annuels importants. La quantité du sel produite atteignait en moyenne les 12 000 t/an mais avec de fortes fluctuations. Certaines années, la quantité produite atteignait à peine 1000 t (comme en 1977 et 1989) et d'autres que la quantité produite dépassait les 40 000 t (comme en 1990) (KASMO 2004).

Les activités du lac Jabboul pendant la saison d'extraction du sel qui débutait en août de chaque année étaient bien animées. Le sel était accumulé sous forme de pyramides. Il y restait en place ainsi jusqu'à l'année suivante, afin que les pluies d'hiver puissent effectuer le lessivage des composés impropres notamment le Chlorure de Magnésium $MgCl_2$. Et lorsque l'été suivant arrivait, les pyramides étaient entamées et le sel rempli et vendu dans des sacs de 103 kg. Or, à partir des années 2000, la quantité de sel produit a fortement chuté et sa qualité s'est amoindrie au point que son extraction fut quasiment arrêtée en 2005 pour sa non-conformité à la consommation humaine, selon les recommandations officielles. Ceci est dû aux multiples changements intervenus et qui se sont répercutés sur le lac et sa région. Malgré les effets positifs de ces changements sur l'environnement et sa biodiversité, ils ont engendré, en revanche, des effets négatifs sur le lac en ce qui concerne sa pollution et notamment sur l'extraction du sel.

L'ÉVOLUTION RÉCENTE DU LAC JABBOUL ET DE SA RÉGION

Après la construction du grand barrage de l'Euphrate, plusieurs grands projets d'irrigation ont été réalisés dans la région qui entoure le lac Jabboul. Les eaux de drainage issues des sols agricoles irrigués se jettent dans le lac Jabboul, la seule dépression naturelle dans la région. C'est désormais ainsi que l'eau est présente en permanence dans le lac qui ne

tarit plus en été. Ceci a conduit à la baisse de la salure de ses eaux, comme il a permis la prolifération de plusieurs espèces de plantes aquatiques et semi aquatiques et ainsi que l'existence de diverses espèces d'animaux dans le périmètre du lac et de ses îles.

La superficie des sols agricoles irrigués et dont les canaux de drainage se jettent dans le lac atteint les 63 000 ha, répartis sur trois zones d'irrigation (NASSER AGHA 2009).

1) L'Établissement Al-Assad à Maskané, à l'est du lac Jabboul sur une superficie de 21 000 ha et dont les terres ont été mises en valeur par l'irrigation à partir de 1976. Les eaux de drainage agricole, d'assainissement sanitaire et industriel se jettent dans le lac Jabboul à travers deux grands canaux de drainage :

- Le drain de Wadi Abou Al-Gorr (D3) au sud du lac qui se jette dans la sebkha de Rasm Ar-Rawam.
- Le drain de Wadi Al-Milh (GD1) au nord du lac.

La quantité d'eau de drainage par an de l'Établissement Al-Assad s'élève à environ 65 millions de m³, vu la faible efficience de l'utilisation de l'eau d'irrigation en agriculture.

2) Le Projet de Maskané Ouest entoure le lac Jabboul des deux côtés Nord et Sud. Sa superficie irriguée exploitée actuellement s'élève à 35 000 ha. Ses eaux de drainage, dont la quantité est évaluée à 145 millions de m³ par an, se jettent dans le lac Jabboul à travers 13 drains principaux.

3) Le projet de Tadif et d'Al-Bab au nord du lac Jabboul sur le lit du fleuve Az-Zahab sur une superficie de 68 000 ha. Ses eaux de drainage, évaluées à 7,8 millions de m³ par an, se jettent dans le lac Jabboul à travers la vallée du fleuve Az-Zahab (GD8).

Cette alimentation hydrique continue du lac Jabboul (d'environ 220 millions de m³/an) a transformé la sebkha qui séchait en été à un lac où durent l'eau et la vie toute l'année. La région du lac est ainsi devenue un des sites géographiques les plus riches en biodiversité (SDC 2006, NASSER AGHA 2009). Cette biodiversité « nouvelle » qui s'est créée dans des nouvelles

conditions environnementales, comprend maintenant diverses espèces de plantes, d'arbres, d'arbustes et d'herbes, d'oiseaux, de poissons, d'animaux et d'autres espèces vivantes. Le site est devenu l'habitat de beaucoup d'espèces d'oiseaux migrants provenant de plus de 40 pays du monde, dont 12 espèces rares et uniques dans leurs genres, qui le traversent ou bien qui y hivernent. Certaines espèces d'oiseaux ont commencé à habiter la région du Jabboul de manière permanente et s'y reproduisent surtout dans les îles du lac. Ainsi, nous pouvons désormais admirer au Jabboul la beauté des jolis oiseaux tel que : le héron cendré (*Ardea cinerea*), le flamant (*Phoenicopterus ruber*), l'ibis (*Plegadis falcinellus*), le pélican blanc (*Pelecanus onocrotalus*), la huppe (*Upupa epops*), l'aigle doré (*Aquila chrysaetos*), et les Cigognes. De même, nous pouvons observer les passages des escadrilles des canards sauvages (*Ferruginous sp.*), des milouins roux (*Aythya ferina*), d'oies sauvages cendrées (*Anser anser*) et d'hirondelles.

De petits et de grands animaux commencent à vivre et à se reproduire dans la région du lac. Citons : le hérisson, la taupe et les petites reptiles ainsi que le renard, le chacal, la hyène et même le loup, qui est réapparu de nouveau dans la région.

La biodiversité comprend aussi plusieurs espèces d'insectes dont certains donnent de très jolis papillons qui tournent autour de très belles fleurs sauvages, de toutes formes, qui poussent désormais d'une manière accrue et plus intense.

La flore végétale de la région s'est enrichie de plusieurs espèces végétales, de grande et de petite taille, qui poussent spontanément sur les rives du lac, sur ses îles, dans les vallées et sur les terres limitrophes aux cours d'eau qu'y se jettent. Beaucoup d'entre elles ont une grande importance économique et écologique. Certains arbustes sauvages et plantes comme le jonc maritime (*Juncus maritimus*) constituent un habitat favorable à la reproduction des oiseaux et jouent un rôle d'épuration des eaux polluées. Le bel arbre de tamaris sp (*Tamarix sp*) qui pousse sur les rives du lac, dans les vallées, sur les pentes et les cours des torrents joue un rôle de fixateur du sol et empêche son érosion. D'autres espèces végétales sont appréciées pour le pâturage ovin et caprin comme la rawtha (*Salsola vermiculata*), le pâturin de Sinaï (*Poa sinaica*), le pâturin à bulbe (*Poa bulbosa*) et l'arroche blanc (*Atriplex leucoclada*). Poussent aussi dans la région plusieurs plantes exploitables : des plantes médicinales tel que l'A'koul (*Alhaji maurorum*),

des plantes aromatiques tel que l'Achillée (*Achillea fragrantissima*) et des plantes consommables par l'homme tel que la mauve (*Malva sylvestris*) et l'épinard sauvage (*Spinacea oleracea L.*).

Enfin plusieurs espèces de poissons vivent et se reproduisent dans les eaux du lac Jabboul tel que la carpe et le goujon. Ceci présente une activité économique importante pour la région et qui pourra se développer dans le futur.

Ainsi, il s'est créé dans le lac Jabboul et sa région un nouvel environnement, riche en biodiversité et original. Mais cet environnement croissant confronte maintenant de graves problèmes de pollution qui touchent tous les êtres vivants et tous les activités économiques et sociales actuelles et potentielles dans cette région.

POLLUTIONS ACTUELLES : CAUSES ET CONSÉQUENCES

Le lac Jabboul souffre de pollutions provoquées par les eaux de drainage agricole, industrielles et sanitaires de plusieurs provenances, ainsi que des activités humaines non contrôlées. Ceci produit des effets négatifs nuisibles au lac et à son environnement. L'état des eaux et des plantes se détériore, le nombre d'oiseaux diminue et le sel extrait du lac, bien que sa quantité soit minime, est devenu impropre à la consommation humaine.

La pollution par les eaux de drainage agricole

De grandes quantités d'engrais et de pesticides se jettent dans le lac Jabboul via les eaux de drainage agricole. Les agriculteurs apportent ces matières aux cultures irriguées, en quantités supérieures aux moyennes préconisées par la Direction de l'Agriculture. Certaines de ces matières laissent des effets résiduels dangereux dans le lac et sur son environnement (HALWANI *et al.* 2009). D'autre part, l'alimentation hydrique continue du lac empêche l'eau salée d'atteindre la concentration salifère nécessaire (200 g/l) pour qu'elle soit pompée dans les bassins d'extraction de sel. De même, les eaux de drainage contiennent un pourcentage de sels (sulfuriques et carboniques) supérieur à celui des sels (Chlorites) qui se trouvent diminués dans la composition salifère.

La pollution par les eaux d'assainissement sanitaire

Plusieurs agglomérations urbaines, villes et villages, sont proche du lac Jabboul. Il s'agit des villes de Deir Hafer, de Sfireh, des villes et villages de la vallée du fleuve Az-Zahab, autour de la ville d'Al-Bab, villages de l'Établissement Al-Assad et le village de Jabboul. Ces agglomérations sont en pleine croissance démographique. La réalisation des projets d'irrigation dans la région et le développement des activités professionnelles liées aux aménagements hydro-agricoles, ou qui contribue à sédentariser les populations locales, à fort taux de croissance naturelle, ainsi que de nouveaux arrivants, dans la région. Or les assainissements sanitaires de ces agglomérations sont rejetés directement, ou indirectement, à travers les canaux de drainage agricole qui se déversent dans le lac Jabboul, sans subir aucun traitement. Ces eaux d'assainissement portent des polluants chimiques (solutions de lessives et d'autres produits), biologiques et physiques (microbes pathogènes et excréments humain et animal).

La pollution par les eaux de drainage industriel et les gaz d'usines

Plusieurs usines et installations publiques et privées entourent de la région de Jabboul : sucrerie de Maskané, station de production d'énergie électrique, usines de produits chimiques et de batteries, minoteries, aéroports et autres. Les déchets liquides de ces usines sont rejetés, partiellement ou entièrement, dans le lac (ASPVS 2011). Ces déchets sont très polluants et dangereux parce qu'ils contiennent des métaux lourds et des produits toxiques qui peuvent s'accumuler dans les tissus des êtres vivants, notamment des poissons. D'autre part, le dégagement des résidus gazeux de certaines installations industrielles pollue l'air de la région et influe négativement sur la santé de tous les êtres vivants qui y résident : l'homme, les animaux et surtout les oiseaux et les végétaux.

La pollution par les déchets solides et les ordures

Beaucoup de municipalités, comme celles de Sfireh et de Jabboul, déchargent leurs ordures sur les rives du lac Jabboul. Les pollutions par les ordures autour du lac peuvent atteindre les eaux du lac et toucher les espèces qui y vivent. Elles présentent aussi un danger pour la santé des animaux qui pâturent autour du lac. En effet, les décharges constituent une source de maladies et d'empoisonnement par les plantes toxiques, les bioxydes et les gaz de combustion quand elles sont brûlées. D'autre part, certains éleveurs, jettent les cadavres d'animaux dans le lac. Ces pratiques polluantes abîment aussi et défigurent le paysage autour du lac.

La pollution par les méthodes de chasse et de pêche

L'utilisation de matières toxiques (gaz de butane, le chlore et les pesticides etc.) ou de la foudre électrique par les pêcheurs pollue le lac et détruit sa biodiversité. Il en résulte une diminution et même une disparition de certaines espèces de poissons et d'autres espèces vivantes. La chasse des oiseaux, migrateurs notamment, durant la période de reproduction, menace leur existence et provoque leur fuite. Et ce, bien que la chasse soit formellement interdite en Syrie depuis plus de 15 ans notamment dans les réserves naturelles telles que Jabboul. Mais les lois et règlements restent peu appliqués. Aussi, les autorisations de pêche, délibérées à certains entrepreneurs, ne sont pas assez contrôlées.

La pollution continue et augmente au Jabboul menaçant la biodiversité et l'équilibre écologique dans cette région, pourtant belle et prometteuse.

Les répercussions sont dangereuses sur l'environnement. La détérioration des eaux du lac s'est accentuée au point que des poissons ont été trouvés morts en grande quantité à la surface du lac à l'été 2011 (AL-BAATH 2011). Les pollutions ont aussi eu un impact sur la flore de la région notamment sur les plantes aquatiques et semi aquatiques. Le jonc maritime, par exemple, a une grande importance économique et écologique.

Il faudrait donc effectuer une étude exhaustive de toutes les causes de pollutions qui menacent la région en vue de conserver la biodiversité, la sauvegarder et la développer afin d'arriver à un meilleur équilibre écologique

en cohérence avec les autres activités économiques et humaines actuelles et potentielles pour la base d'un développement durable dans la région. Et, il est urgent de trouver les moyens techniques appropriés pour reprendre l'activité historique d'extraction du sel.

Perspectives d'aménagement régional durable

Dans les dix dernières années, plusieurs études et/ou projets d'études portant sur l'aménagement et le développement du lac Jabboul et sa région ont été présentés et diffusés. Ces études traitent partiellement d'un ou plusieurs domaines (LOUBBOS 2010, ASPVS 2011) : le développement de l'agriculture, le pâturage, la biodiversité naturelle (Flore et Faune), les différentes pollutions, l'aménagement du lac, la pisciculture, le paysage, l'industrie, l'artisanat, le développement socio-économique, le tourisme et notamment l'écotourisme. Ces études ont été effectuées par différentes directions gouvernementales concernées, des chambres professionnelles (d'agriculture; d'industrie et de tourisme), des organisations locales et des comités concernés liés au Gouvernorat d'Alep. Certaines de ces études ont décrit la situation actuelle en traitant un facteur agissant sur les problèmes rencontrés. D'autres études ont visé la réalisation concrète de projets sur le terrain y compris des ouvrages (SDS 2006). Or les études ou les projets lancés souffraient de maintes lacunes car ils ne prenaient en compte que certains aspects et en négligeaient beaucoup d'autres (par exemple : exploitation du sel alimentaire et des poissons alors qu'ils sont devenus pollués, construction d'hôtels et d'installations de tourisme malgré l'inexistence des infrastructures nécessaires). Ainsi, ces études sont restées à la phase de propositions et de remarques générales.

L'absence d'un plan d'ensemble précis et exhaustif qui identifie les problèmes, fixe les objectifs et les réalise est le principal obstacle à l'aménagement de cette région pour l'étude des problèmes et des obstacles qui s'y trouvent ainsi que pour l'élaboration et la réalisation des différents plans pose la problématique principale de base dans l'aménagement de cette région. Ajoutons à cela la multiplicité des directions administratives gouvernementales qui s'occupent d'une manière ou d'une autre du lac Jabboul et de sa région et la faible coordination entre elles. Il s'agit des ministères : de l'administration locale, de l'environnement, de l'agriculture

et la réforme agraire, de l'irrigation, du pétrole et des ressources minérales, du logement et de la construction, du tourisme ainsi que les différents bureaux, directions et comités du Gouvernorat d'Alep. Étudier et élaborer un plan d'ensemble en premier lieu s'avère donc indispensable pour tout développement rationnel, possible et envisageable dans la région. Un plan qui doit être traité sous tous les angles et par plusieurs approches.

Nous proposons d'étudier et d'élaborer un plan d'aménagement d'ensemble pour le développement de la région en prenant en considération particulièrement :

1. Les différentes sortes de pollution, leurs causes et leurs identifications afin de trouver des solutions appropriées à la protection du milieu du lac et de ses alentours.

2. La situation actuelle des ressources naturelles et humaines disponibles (eau, sol, biodiversité, habitants actuels ou potentiels et autres ressources) et les possibilités de leurs gestions appropriées tout en intégrant le projet d'aménagement dans l'ensemble de l'environnement naturel et socio-économique.

3. Le développement économique et socio-économique de la région en exploitant ses ressources de manière favorable au développement durable.

4. Lancer différents projets agricoles, pâturages et élevages, commerciaux, industriels, artisanaux, urbains et touristiques ayant la possibilité de se concrétiser.

5. Proposer et présenter surtout un projet d'écotourisme régional, portant sur le lac Jabboul et réalisable en cohérence avec le développement et la biodiversité, le paysage, le développement des activités économiques et humaines et les infrastructures indispensables à ce projet.

Ceci nécessite la collaboration entre plusieurs parties compétentes : instituts universitaires scientifiques, ONG, organisations, experts et entreprises locales et étrangères pour pouvoir atteindre les objectifs recherchés ; et ce en étroite collaboration avec les acteurs et surtout les décideurs locaux.

QUE CONCLURE ?

Les circonstances du développement hydro-agricole combinées à la situation géographique du lac Jabboul ont créé un « nouvel environnement » et une « nouvelle biodiversité ». L'environnement créé pourrait se développer et trouver un équilibre écologique idéal si les efforts se concentraient pour sauver le Jabboul des différentes « pollutions actuelles » qui le menacent. Or, la problématique de la mise en valeur et en exploitation durable du lac Jabboul et de sa région ne se limite pas à la préserver des pollutions. Il faudrait réagir pour développer la région du lac et concrétiser les objectifs, de sa mise en valeur, vécus depuis l'apparition de cet environnement curieux.

Les possibilités de développement sont multiples et sont toutes étroitement liés, comme d'ailleurs les complications administratives, les pollutions et la stagnation des projets lancés. Et, entre la situation actuelle et les potentialités persiste un pari : la volonté de se développer, car les particularités naturelles et les énormes potentialités sont déjà présentes.

A notre tour, nous sommes en train de lancer un projet d'étude et d'élaboration d'un plan d'aménagement d'ensemble pour le développement durable de la région du lac Jabboul et notamment un écotourisme durable de cette région.

La question demeure : pourrons-nous l'exécuter ?

RÉFÉRENCES

AL-BAATH, 2011: « levée de la pollution industrielle de Sebkha d'Al-Jabboul », Journal Al-Baath 4 août 2011, p. 7.

AZEZI, Mohamad, 2009 : « Le lac Jabboul souffre de la pollution », Journal Baladouna 10 août 2009, Dossier et entrevues.

BADLISSI, Salim, TOUCHAN, Hayat, 2011 : Le territoire de Jabboul et ses alentours 2010 - 2011, Rapport Inédit, Alep.

GOLD (General Organization for Land Development) : Cartes Géographiques.

HALWANI, Jalal, TOUCHAN, Hayat, BADLISSI, Salim, 2009 : Analyse chimique et microbiologique des eaux à Maskané : eau potable, d'irrigation et de drainage, Journée d'Etude sur « Eau & Développement durable dans un territoire aride méditerranéen. Maskané en Syrie », 20 Janvier 2009, Alep.

KASMO, Bourhane, 2004 : « Le lac Jabboul : un passé prestigieux et un futur promettant », Bulletin de la Chambre d'Agriculture d'Alep 5, p. 20-24.

ASPVS (L'Association Syrienne pour la protection de la vie sauvage), 2011: Symposium sur « le plan de protection du lac Jabboul », Juillet 2011, Alep.

LOUBBOS, May, 2010 : « Situation du lac Jabboul et solutions pratiques pour la sauver », L'Agriculteur (Périodique de la Chambre d'Agriculture d'Alep) 16, p. 26-27.

NASSER AGHA, Abdel-mounem, 2009 : « La pollution environnementale au Jabboul et ses effets sur la biodiversité », 8^{ème} Semaine Scientifique Agricole de la Chambre d'Agriculture d'Alep 9-11 novembre 2009.

SDC (SWISS Agency for Cooperation and Development), 2006: A proposal for ecotourism development in Al-Jabboul lake, 27 p.

DOCUMENTATION DES BIENS HYDRAULIQUES D'EAU POTABLE DANS LA RÉGION DE LA BEKAA

Imad EL KHAZEN

INTRODUCTION

La Coopération Internationale Allemande (GIZ), en partenariat au niveau national avec le Ministère de l'Énergie et de l'Eau, et au niveau régional avec les quatre Établissements de l'Eau au Liban, travaille dans le but d'améliorer l'approvisionnement en eau potable et de développer une bonne gestion des réseaux des eaux usées.

En s'impliquant dans plusieurs activités au niveau des quatre Établissements et du Ministère suivant les besoins, et en particulier avec l'Établissement des Eaux de la Beqaa, il s'est avéré nécessaire d'effectuer une enquête des infrastructures hydrauliques et un état des lieux pour une bonne gestion des infrastructures.

La plaine de la Beqaa est un plateau situé dans la partie orientale du Liban, entre les chaînes du Mont-Liban et de l'Anti-Liban, à une altitude moyenne d'environ 900 mètres. Elle couvre environ 4 000 kilomètres carrés, soit plus du tiers de la surface du Liban (Figure 1).

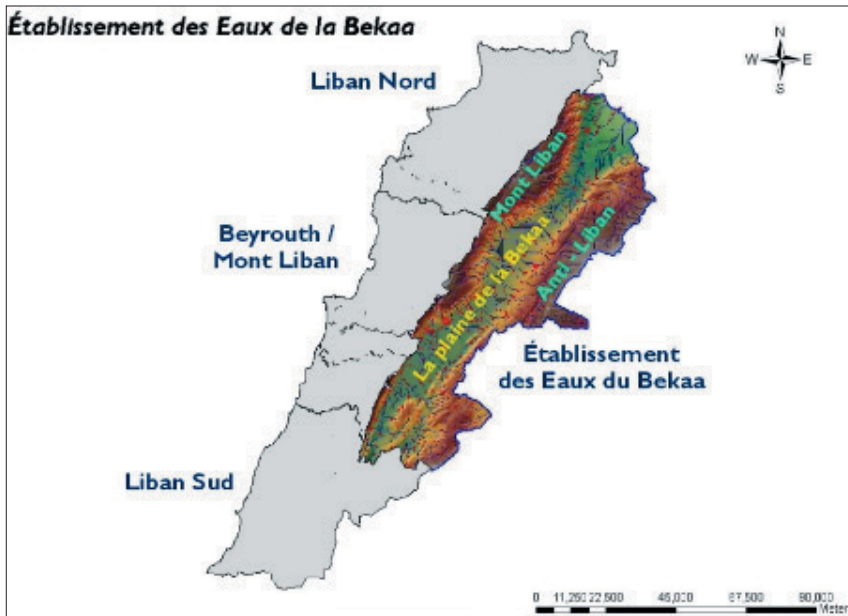


Figure 1 - Zone d'exploitation de l'Établissement des Eaux de la Bekaa

La région de la Bekaa est formée en majorité de zones agricoles, avec une population totale d'environ 500 000 habitants. Elle est caractérisée par un service d'approvisionnement en eau potable peu fiable.

L'Établissement des Eaux de la Bekaa est divisé géographiquement en quatre branches principales contenant chacune deux ou trois sections distribuées suivant la figure 2 qui suit :

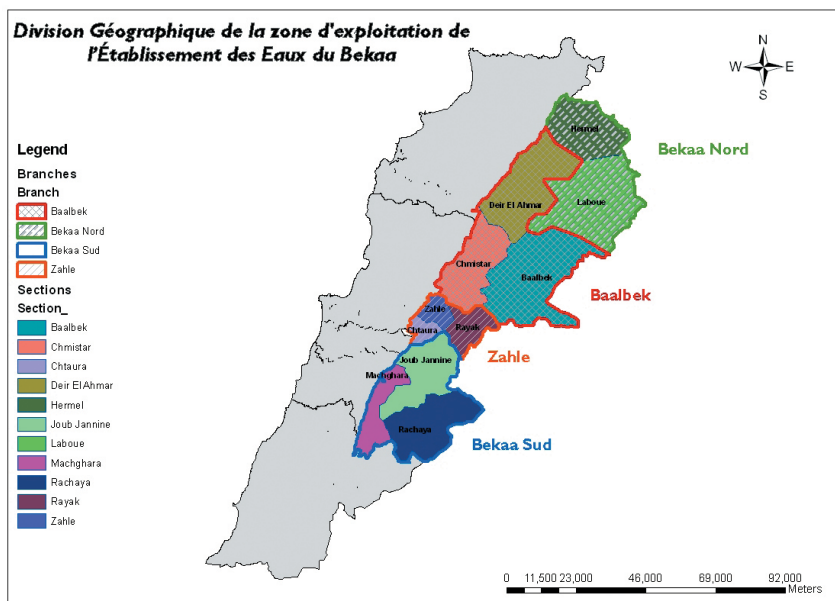


Figure 2 - Division Géographique de la zone d'exploitation de l'établissement

Suite à l'application de la Loi 221 issue en l'an 2000, les trois Offices de l'Eau de la Beqaa, Chamsine, Baalback et Zahlé, ont fusionné pour former l'Établissement des Eaux de la Beqaa.

L'Établissement souffre de nombreux problèmes aux niveaux institutionnel et technique. Les taux de pertes techniques et commerciales sont très élevés (75 % environ), avec 36 % des villages desservis d'une manière illégale.

Dans ce cadre, et pour prendre en charge une distribution d'eau potable équitable, il est nécessaire d'établir une liste détaillée des biens hydrauliques de l'Établissement et de les évaluer pour une bonne gestion des infrastructures, et par la suite pour améliorer le niveau des services d'approvisionnement.

Afin d'améliorer les pratiques actuelles de gestion des biens hydrauliques, la GIZ a financé la documentation des infrastructures

hydrauliques dans le cadre de son appui technique à l'Établissement. Ceci permet d'identifier les différents problèmes techniques et par la suite de limiter les pertes en eau ou *Non-Revenue Water*.

Le travail a été divisé en trois étapes :

1. La première étape consiste à collecter toutes les données techniques des biens hydrauliques, citant ainsi les sources d'eau et réservoirs, les puits et les forages, les stations de pompage, les usines de traitement de l'eau, les systèmes de chloration, et les conduites de transmission.
2. La deuxième étape consiste à valoriser ces infrastructures suivant la méthode du coût de remplacement après amortissement, dans le but d'améliorer la gestion de la maintenance et la gestion financière. Cette étape inclut également un travail administratif afin de traiter les données, développer un système de codification, créer les tableaux et requêtes nécessaires pour une bonne gestion des données sur un Système d'Information Géographique (SIG), et générer les rapports de synthèse en fonction des besoins.
3. La troisième étape tient compte des réseaux de distribution dans tous les villages allant des points de distribution (réseaux secondaires et tertiaires)

LA COLLECTE DES DONNÉES

Visites des Biens Publics d'eau (Réservoir, puits, sources, usines de traitement des eaux, systèmes de chlore) :

Le travail de terrain consiste à remplir une fiche de données pour chaque service visité mentionnant ainsi toutes les données nécessaires concernant l'état physique ou civil, les détails électromécaniques, identification des coordonnées géographiques. Cette fiche est accompagnée par une prise de photos et un croquis décrivant le bien visité. Le tableau 1 montre le nombre des biens de l'Établissement avec les conduites de transmission.

Type	Description	Nombre
Réservoir	Capacité de rétention entre 25 et 6,000 m ³	214
Château d'eau	Capacité de rétention entre 25 et 750	27
Puits	Profondeur du forage entre 20 et 500 m	150
Station de pompage	Station de pompage	16
Conduite de transmission	Conduites en Fonte Ductile DN 100 entre 300	564,593 (Km)
Usine de traitement de l'eau	Usine de traitement de l'eau	2
Source	Source	28
Système Chlore	10-1000 g/h	23

Tableau 1 - Différents types d'installations visitées avec leur nombre

Les conduites de transmission

Les données relatives aux conduites de transmission ont été recueillies lors d'un atelier général organisé par l'Établissement au cours de deux jours. Les canalisations ont été identifiées et décrites par les responsables régionaux et le personnel responsable de la maintenance, en collaboration avec des ingénieurs consultants. Les cartes *Google* ont été utilisées pour faciliter cette tâche. (Figure 3)



Figure 3 - Documentation des conduites sur Google Earth

Traitement des données

Une base de données, usuellement abrégée en BD ou BDD, est un ensemble structuré et organisé permettant le stockage de grandes quantités d'informations afin d'en faciliter l'exploitation (ajout, mise à jour, recherche de données) (Base de données - Wikipédia).

Les Tableaux

Des tableaux ont été créés pour :

- Les références et les noms des villages
- Les régions
- Les catégories des Biens Publics
- Les Cazas
- Les conditions des Biens Publics
- Les types de Biens Publics comme les puits, les sources, les stations de pompage, les systèmes de chloration, les usines de traitement, les tuyaux de transmission, les réservoirs.

Les tableaux des Biens Publics ont utilisé les mêmes champs de données définis par les fiches de données.

Relations de base de données

En cliquant sur les Outils de base de données / relations / toutes les relations, on sera en mesure d'afficher les relations créées entre les tableaux. En principe, chaque fiche de données comprenant un tableau, a une relation avec le village, la catégorie et le type de flux (pour la fiche de données du compteur d'eau). En outre, tous les champs de condition sont reliés à la table des conditions. Notez également que le village est lié à une région et la région à un Caza.

Requêtes

Certaines requêtes ont été créées pour sélectionner les informations utiles à partir des tableaux des Biens publics qui seront utilisés pour :

- Le transfert de données SIG
- Création des Rapports.

Rapports

Les rapports ont été créés pour chaque tableau en utilisant la requête associée. Les photos ont été incluses dans les tableaux en utilisant la fonction d'attachement.

SIG Geodatabase (Design, développement et migration de la Base de données)

Le Système informatique permettant, à partir de diverses sources, de rassembler et d'organiser, de gérer, d'analyser et de joindre, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement, contribuant notamment à la gestion de l'espace (HABERT, 2000). Le processus de développement d'une géodatabase se compose d'une vision conceptuelle de ce que la base de données contiendra ; design de la logique de la base de données et une réalisation physique d'une structure qui contiendra les informations géographiques actuelles ; le design physique de la base de données.

Le modèle de données logique décrit les composantes du système et leurs relations ensemble. Le modèle physique de la base de données est construit à partir du modèle de données logiques. Il traduit le modèle logique abstrait dans le design technique spécifique pour le système. Cette modélisation du design de la base de données est faite en utilisant *Microsoft Access Database*. Les tableaux sont créés à partir des requêtes de filtrage des données afin d'être transférés à des fichiers de forme SIG.

La migration des données est un terme général qui est utilisé pour décrire le processus par lequel des données provenant de diverses sources sont converties en un format complet numérique intégré SIG.

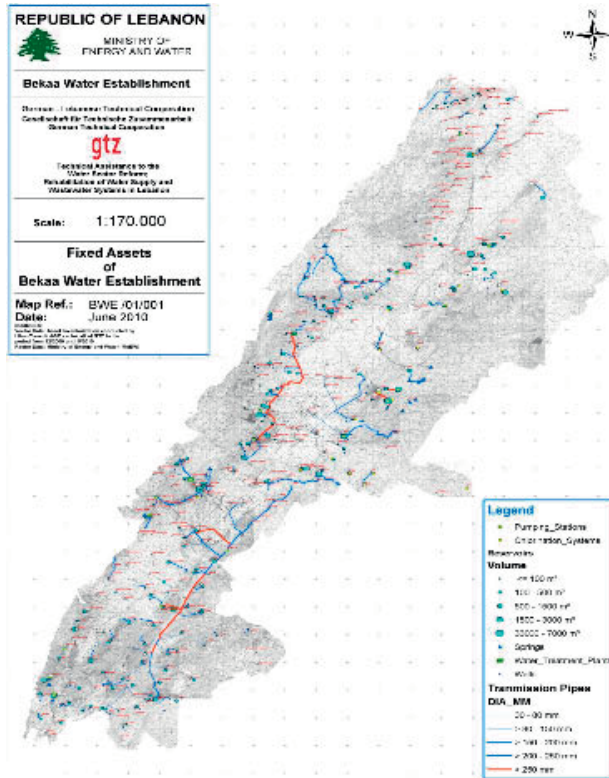


Figure 4 - Présentation sur GIS de la documentation des installations hydrauliques de l'Établissement des Eaux de la Bekaa.

ÉVALUATION FINANCIÈRE DES BIENS HYDRAULIQUES DE L'ÉTABLISSEMENT DES EAUX DE LA BEKAA

Les actifs existants ont été évalués suivant la méthode du coût amorti de remplacement des installations, en prenant en considérations les méthodes et les critères suivants :

- Méthode d'amortissement : la méthode linéaire d'amortissement
- L'âge de chaque actif de type
- Le taux d'amortissement est déterminé selon la longévité de chaque type d'installation
- Valeur résiduelle minimale de chaque type d'installation
- Coût de l'actif initial : basé sur son coût de remplacement précédemment évalué

- Montant de l'amortissement : déterminé en utilisant les taux de dépréciation, à l'âge de l'actif, les coûts initiaux d'actifs
- Facteur de correction : évalué par le consultant en fonction de l'état des installations actuelles
- Valeur actuelle : déterminée en réduisant les coûts initiaux d'actifs par le montant de l'amortissement et en appliquant le facteur de correction

Le Tableau 2 ci-dessous nous montre le coût de remplacement de chaque catégorie d'actifs ou biens hydrauliques ainsi que leurs valeurs actuelles.

	Les Biens Hydrauliques	Coût de remplacement en USD	Valeur Actuelle en USD
1.1	Réservoir (Travaux Civils)	18,628,904	13,025,437
1.2	Réservoir (Travaux Mécaniques)	3,965,735	1,970,083
1. Coûts Totaux réservoirs		22,594,639	14,995,520
2.1	Les forages	12,421,495	10,912,941
2.2	Équipement des puits	13,982,412	8,061,882
2.3	Travail Civil des puits	2,948,400	1,960,014
2. Coûts Totaux des puits		29,352,307	20,934,837
3. Coûts Totaux des conduites de transmissions		50,793,373	30,016,310
4.1	Stations de Pompages (Travaux Civils)	1,154,941	810,725
4.2	Stations de Pompages (Travaux Électromécaniques)	19,615,226	5,385,812
4. Coûts Totaux des stations de pompages		20,770,167	6,196,537
5.1	Usine de traitement des eaux de Zahlé	2,478,592	1,750,630
5.2	Usine de traitement des eaux de Flaoui	2,625,000	2,064,300
5. Coûts Totaux des usines de traitement des aux		5,103,592	3,814,930
6. Coûts Totaux des systèmes de chlore		385,000	257,985
GRAND TOTAL		128,999,078	76,216,119

On constate que les conduites de transmissions sont les actifs ayant la plus haute valeur et ce sont les actifs les plus critiques et les plus vulnérables de tous les biens hydrauliques de l'établissement.

LA DOCUMENTATION DES RÉSEAUX DE DISTRIBUTION D'EAUX POTABLES DANS L'ÉTABLISSEMENT DES EAUX DE LA BEQAA

L'Établissement des Eaux de la Bekaa représente un manque dans la documentation des biens hydrauliques et surtout les réseaux de distribution ainsi que les réseaux installés récemment. La plaine de la Beqaa est constituée de 352 villages dont 240 seulement sont desservis par l'Établissement.

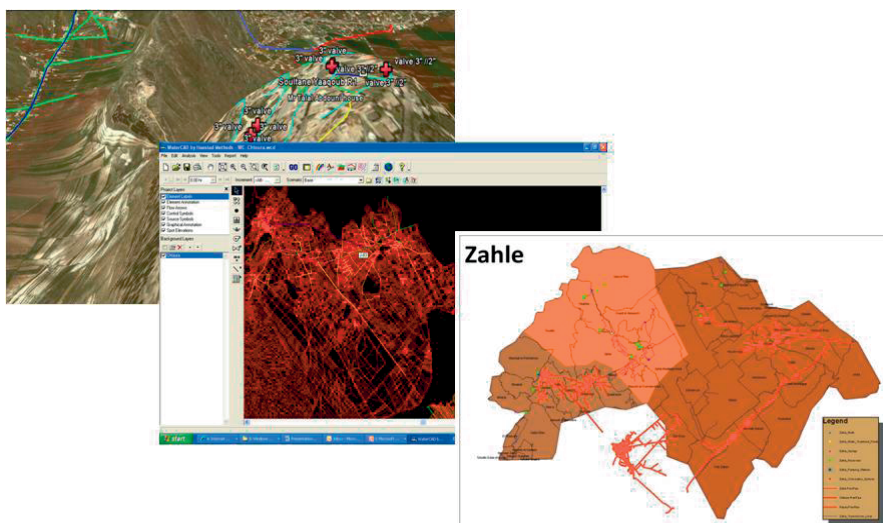
L'objectif de la documentation des réseaux hydrauliques est :

- Aider l'établissement à regrouper et trier les données existantes chez les différents opérateurs des systèmes d'alimentation en eau potable
- Développer une base de données conforme à la base de données créée durant la documentation des biens hydrauliques
- Intégrer tous les réseaux sur SIG pour une documentation des fuites et des pannes par la suite
- Développer une base de données permettant à l'établissement de concevoir des stratégies pour minimiser les pertes en eau

Pour pouvoir documenter les réseaux hydrauliques, il existe deux options différentes:

1^{ère} option : Entretiens avec les opérateurs

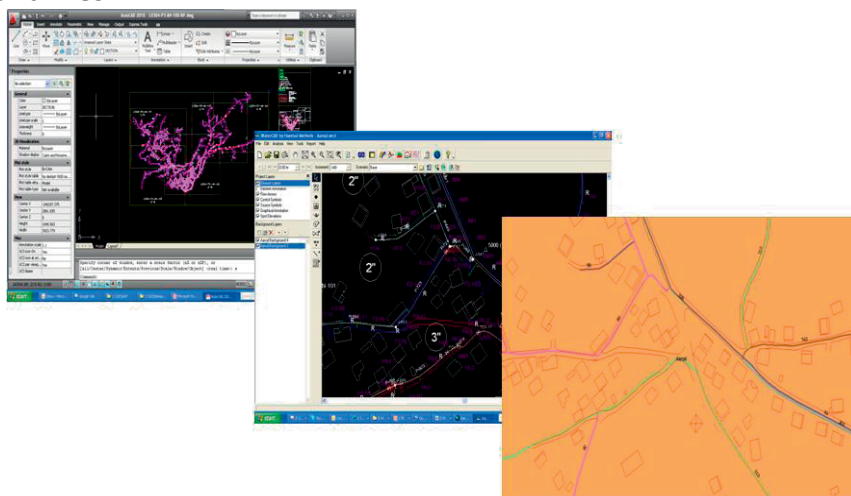
- Entretiens avec les chefs de section pour la documentation des anciens réseaux
- Intégration de données sur *Google Earth* suivie d'un transfert sur un logiciel hydraulique spécialisé (diamètre, longueur, matériel, date d'exécution, etc.)



Intégration des données sur SIG

2^{ème} option : Documentation des plans d'exécution

- Triage des plans d'exécution par département/région
- Arrangement des plans en isolant les réseaux et les différentes sortes de vannes



- Transfert des réseaux sur un logiciel hydraulique en introduisant le diamètre, longueur, matériel, date d'exécution etc. et Intégration des réseaux avec toutes les données sur SIG

CONCLUSION

Plus de 100 millions de dollars ont été investis dans la Beqaa depuis 2003 par différents bailleurs de fonds pour améliorer l'approvisionnement en eau. Mais malheureusement l'Établissement des Eaux de la Beqaa représente une déficience dans la gestion des biens hydrauliques et une absence quasi-totale de toute sorte de documentation.

La documentation des biens hydrauliques facilite ainsi :

- les procédures de fonctionnement et de maintenance
- l'extension des réseaux suivant les besoins
- la gestion des biens pour des décisions adéquates

Enfin, la documentation des biens hydrauliques et des réseaux de distribution de l'Établissement des Eaux de la Bekaa est considérée comme un outil dynamique de gestion de ces biens. Cette documentation permet d'identifier les différents niveaux d'interaction, administrative ou technique, et de réduire les dépenses et les coûts:

À long terme, la documentation contribue à l'amélioration du service d'approvisionnement, à étaler les réseaux vers les villages privés d'eau et d'assurer une bonne qualité et une abondance en eau permettant ainsi une distribution équitable à tout le monde.

GESTION DURABLE DE L'EAU EN ZONE ARIDE : L'EXEMPLE DE LA VILLE DE DJIBOUTI

Ahmed ABDILLAHI

LE CONTEXTE DU PAYS

Situation de l'eau à Djibouti

La République de Djibouti est située dans la région de la corne de l'Afrique, au croisement de la mer Rouge et du golfe d'Aden. Le territoire national représente 23 000 km² avec 375 km de côtes. Il est caractérisé par un relief relativement escarpé et une activité volcanique et sismo-tectonique. Le climat est aride avec des précipitations moyennes annuelles de l'ordre de 150 mm. Les températures diurnes moyennes varient entre 17 °C et 42 °C et l'humidité relative reste assez élevée en fluctuant entre 40 % et 90 %.

La République de Djibouti a dû de tout temps faire face à de multiples difficultés d'alimentation en eau potable. Cette alimentation est aujourd'hui basée, à plus de 95 %, sur les eaux souterraines. Au stade actuel, sur les 29,4 millions de mètres cubes par an qui sont extraits des aquifères volcaniques et sédimentaires, 5,7 % sont destinés à l'alimentation en eau de la population rurale et du bétail, 42,5 % à l'irrigation et 51,7 % à l'approvisionnement en eau des zones urbaines alors que l'on estime les besoins en eaux actuels et futurs à plus de 41 à 51 millions de mètres cubes par an pour les horizons 2010 et 2015. Près de 82 % de la population nationale est urbaine, avec près de 65,5 % sont regroupés dans la ville de Djibouti. La population rurale est estimée à 16 % de l'effectif total.

L'aquifère qui alimente la ville de Djibouti, dans lequel sont implantés trente forages est, de loin, le plus exploité du pays. L'exploitation de cet aquifère a commencé en 1962 avec trois premiers forages. Auparavant la petite bourgade qu'était Djibouti puisait son eau d'un réseau de galeries drainantes souterraines qui captaient les eaux de ruissellements de pluies et les eaux de sous-écoulements des oueds (RAYALLEH, 2004, GABA, 2009).

Ainsi vers 1960, deux millions de m³ d'eau par an alimentaient Djibouti. Avec l'accroissement de la population et l'augmentation du nombre de forages au gré des besoins l'exploitation atteint 12 millions de m³ pour l'année 2005. Ce volume est insuffisant pour couvrir tous les besoins de la ville, d'après l'étude prévisionnelle des besoins en eau de la ville de Djibouti effectuée par Lavalin-Tractebel¹ (1993) pour le compte de l'ONEAD sur la base du recensement de la population de 1991. Les besoins de la ville en 2005 étaient de 16 millions de m³ et passeront à 25 millions en 2025.

Le défi majeur auquel le secteur de l'eau est confronté pour les années à venir sera **l'insuffisance de son potentiel hydrique**. Cette pénurie d'eau à Djibouti s'inscrit dans les deux conceptions de la notion à savoir d'une part comme phénomène de nature physique lié à un déficit de ressources et d'autre part comme un phénomène social construit géographiquement et historiquement situé, pour souligner que **la pénurie d'eau est indissociable des usagers**². En effet, Djibouti fait partie des pays les plus pauvres en eau de la région de MENA³ avec un volume total de ressources en eau renouvelables par habitant et par an de 433 mètres cubes/hab./an alors que la moyenne de la région est de 700 mètres cubes/hab./an.

Pays	Total	Pays	Total
<i>Iraq</i>	<i>3007</i>	<i>Oman</i>	<i>356</i>
<i>Iran</i>	<i>2020</i>	<i>Cisjordanie - GAZA</i>	<i>268</i>
<i>Syrie</i>	<i>1226</i>	<i>Yémen</i>	<i>212</i>
<i>Liban</i>	<i>1511</i>	<i>Jordanie</i>	<i>165</i>
<i>Maroc</i>	<i>964</i>	<i>Bahreïn</i>	<i>164</i>
<i>Égypte</i>	<i>827</i>	<i>Libye</i>	<i>110</i>
<i>Tunisie</i>	<i>472</i>	<i>Arabie saoudite</i>	<i>102</i>
<i>Algérie</i>	<i>458</i>	<i>Qatar</i>	<i>88</i>
<i>Djibouti</i>	<i>433</i>	<i>Koweït</i>	<i>8</i>

Tableau 1 - Volume total des ressources en eau renouvelables par m³/habitant/an dans la région MENA - Source : AQUASTAT pour la période 1998-2000, Banque mondiale

1. Groupe d'audit

2. Arnaud BUCHS, « La construction sociale de la pénurie en eau à Almeria (Andalousie) ou l'échec de la normalisation « hydrauliciste », LEPII-CNRS – UPMF, juillet 2010

3. Moyen-Orient et Afrique du Nord

Problèmes concernant la qualité de l'eau

La compréhension des mécanismes et la quantification du taux de recharge d'un aquifère sont un pré-requis nécessaire à la gestion efficace des ressources en eaux souterraines en particulier dans les zones à climat semi-aride (GABA, 2009).

Les eaux souterraines représentent l'unique ressource d'approvisionnement d'eau à la ville de Djibouti il existe un problème de salinité des eaux souterraines causée par plusieurs facteurs humain et naturel, engendrant de sérieux problèmes à l'irrigation et à l'approvisionnement en eau potable. La plus parts des forages de Djibouti présente des eaux saumâtres⁴ (BOUH, 2006).

L'alimentation en eau potable, source d'inégalités

L'approvisionnement en eau potable de la ville de Djibouti est caractérisé par l'existence de d'inégalités de nature très différente.

On distingue des inégalités spatiales, des inégalités socio-économiques et des inégalités socio-politiques (RAYALEH, p319, 323, 2009).

Inégalités spatiales

La ville de Djibouti est séparée en deux parties au nord l'ancienne ville nommée *Djibouti-ville*⁵ et au sud la nouvelle ville de *Balbala*⁶, cette séparation géographique se retrouve aussi dans l'alimentation en eau de la ville.

Ainsi la capacité de pompage⁷ est différente selon qu'on se situe

4. Les eaux sont jugées douces pour des conductivités comprises entre 500 et 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et les eaux sont saumâtres au delà de 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$

5. Regroupe le port, les quartiers résidentiels de haut et de moyen standing, le quartier administratif et commercial, et les quartiers populaires anciens

6. Constituée majoritairement de quartiers d'habitat spontané, viabilisés par la suite et occupés par les couches les plus défavorisées de la population

7. Les pompes qui alimentent le secteur nord de la ville sont au nombre de trois, d'une capacité de 750 m^3 heure chacune. Alors que deux pompes seulement de plus faible capacité (350 m^3 heure) approvisionnent - *Balbala*.

à *Djibouti-ville* ou *Balbala* et de même la durée d'approvisionnement⁸ est inégalement répartie entre ces deux zones géographique (RAYALEH, p319, 323, 2009):

Inégalités socio-économiques

L'administration met en place une politique tarifaire qui est calculée sur la base des coûts réels⁹. Cette situation engendre un coût d'accès très élevé à l'eau sachant que la distance entre le foyer et les points d'alimentation peut être importante selon que l'on se trouve à *Djibouti-ville* ou à *Balbala*¹⁰. (RAYALEH, p319, 323, 2009).

Inégalités socio-politiques et socio-ethniques

Certaines catégories de la population djiboutienne bénéficient de la gratuité d'alimentation en eau. Il s'agit selon Hassan RAYALEH *de l'ensemble de l'Administration qui regroupe les services publics (ministères, écoles et dispensaires), les structures militaires et policières, et les édifices religieux*, alors que les catégories les plus démunies de la population doivent payer pour accéder à l'eau. Face à une ressource en eau de plus en plus rare sur un territoire peu étendu, et une gestion de l'eau qui se caractérise par des difficultés économiques, techniques et socio-politiques, il serait intéressant d'étudier les apports d'une analyse théorique et d'une modélisation de la gestion durable de l'eau à Djibouti.

Le point de départ de notre réflexion devrait se situer sur les modalités d'une gestion durable de l'eau dans une région particulière de la corne de l'Afrique avec l'étude de cas portant sur Djibouti, en liaison avec les questions de **justice environnementale**. Dans ce contexte, la question de l'eau se voit posée non seulement en termes de répartition plus juste de la ressource (critères de justice intra et intergénérationnels) mais aussi en terme d'accès à une eau propre, considérée comme un droit humain fondamental à garantir (OMDs).

8. Les pompes réservées à Djibouti-ville fonctionnent 24 heures sur 24 pour assurer une alimentation continue à cette partie de la ville où vit une population estimée entre 250 000 et 300 000 personnes. Pour Balbala, qui compte entre 100 000 et 150 000 habitants selon les estimations, la durée de fonctionnement des pompes est limitée à 8 heures par jour.

9. C'est-à-dire en fonction de la distance du domicile par rapport à la canalisation principale et au diamètre des tuyaux et des accessoires utilisés

10. Environ 500 euros à Djibouti-ville et 1500 euros à Balbala.

PROBLÉMATIQUE

L'élaboration d'une **gestion durable de l'eau** paraît pertinente pour une région aride ou semi-aride à fin de réduire les **inégalités environnementales**. Le terme d'inégalité environnementale exprime « *l'idée que les populations ou les groupes sociaux ne sont pas égaux face aux pollutions, aux nuisances et aux risques environnementaux, pas plus qu'ils n'ont un accès égal aux ressources et aménités environnementales. multiscalaire, l'inégalité environnementale peut être lue à une échelle planétaire, à une échelle locale ou à tous les échelons intermédiaires* » (Cyria EMELIANOFF et al., 2007).

Ces inégalités environnementales sont des inégalités d'accès à la qualité du cadre de vie (accès à l'eau potable de bonne qualité) et des inégalités dans l'exposition aux nuisances engendrées par l'expansion urbaine et aux risques, industriels et naturels (J.THEYS, C.EMELIANOFF, 2000). Par ailleurs, on peut noter que ces inégalités sont souvent dépendantes des autres formes d'inégalités sociales telles que les inégalités de revenu, d'emploi, ou de consommation.

Par exemple, à Djibouti, les populations à faible revenu sont en général les plus touchées par les inégalités environnementales, et plus particulièrement par celles relatives à l'accès à l'eau.

Cette situation sera étudiée et une analyse économique des différentes inégalités associées à l'eau sera envisagée.

Dès lors, il apparaît nécessaire de mettre en place des politiques pour atténuer ces inégalités (schéma directeur 2000, Djibouti) et notamment envisager des politiques publiques en terme de tarification et de réglementation susceptibles d'introduire plus d'équité entre les différents groupes de population.

La difficulté de la mise en œuvre de ces politiques peut résider dans l'incompatibilité entre les dimensions économiques, sociales et environnementales d'une gestion durable de la ressource (S. FERRARI, 2010). Dans ce contexte, il peut être utile d'introduire la notion de justice écologique ou encore d'éthique environnementale pour éclairer les orientations des politiques dans le domaine de l'eau.

Les inégalités en matière d'accès à la ressource, d'équipement, de savoir-faire, de zones plus ou moins vulnérables sont constitutives

de situations d'expériences et de gestions du risque très contrastées. L'identification et l'analyse d'une telle diversité sont des questions de recherche pertinentes dès lors que la ressource vient à manquer (A. RICHARD *et al*, 2006).

Dans ce contexte, il me semble que la problématique pourrait porter sur l'accès inégal à l'eau et viserait à montrer en quoi une gestion intégrée de la ressource permettrait d'apporter des réponses à la fois :

- en terme de disponibilité de l'eau pour que les générations présentes et futures, ce qui s'accompagne d'une mise en place de la gestion durable qui préserverait cette ressource de plus en plus rare en adoptant une coopération des tous les acteurs (publics et privés, ONG etc.) porteurs de stratégies et d'intérêt divers. Une fois cette disponibilité assurée, il faudrait envisager la manière dont les politiques publiques pourraient participer à la réduction des inégalités en terme d'accès à la ressource.
- en terme d'accessibilité de l'eau (en quantité et en qualité). Afin de faire face à une demande de plus en plus forte (3 % taux de croissance démographique), il faudrait mettre en place un réseau de distribution efficace en limitant le gaspillage de la ressource (taux de déperdition de l'eau élevé -40 % à Djibouti) et éviter toute dégradation de sa qualité (pollutions) pour les générations présentes et futures. Ainsi une relecture des politiques tarifaires et de leur efficacité doit permettre à la population la plus défavorisée d'accéder à l'eau (critères à définir pour des politiques justes et équitables).

ORIENTATIONS MÉTHODOLOGIQUES

L'analyse de la gestion durable de l'eau peut s'articuler en prenant en compte plusieurs aspects de la ressource : l'eau en tant que ressource naturelle, sa dimension institutionnelle, l'eau en tant qu'actif multifonctionnel ou multi-usages. Cette analyse implique de combiner les trois dimensions inhérentes au caractère durable de sa gestion : économique (efficacité), environnementale (ressource préservée) et sociale (accès équitable au niveau intra et intergénérationnel). A partir de là, il conviendra de s'interroger sur la définition de politiques publiques qui pourront corriger les inégalités environnementales associées à cette ressource.

- Une approche de la ressource en eau mettant en relation l'eau comme bien privé et l'eau comme bien public. Cette relation renvoie à une distribution des pouvoirs dont la légitimité, du point de vue des acteurs est assujetti à un horizon d'attentes très différentes. Selon la position occupée dans un système de gestion de l'eau, on peut voir dans « la coordination hydraulique » une voie pour assurer une équité entre les membres ou une opportunité pour remettre en cause une situation d'irrégularité (P. CARON *et al*, 2006).
- L'analyse pourra se positionner dans une approche patrimoniale de la ressource en eau. Cette approche conduit à introduire une perspective critique qui questionne l'orientation traditionnelle tendant à rapprocher systématiquement le non-marchand vers les catégories marchandes (NIEDDU, *et al* 2004). Ce faisant, les « économistes du marché » dénatureraient le patrimoine en l'assimilant à du capital. Cette analyse portée par les dimensions patrimoniales permettra de comprendre les décalages qui peuvent exister entre la propriété privée et le patrimoine commun.
- Les questions évoquées précédemment doivent également être considérées dans leur contexte institutionnel. Ceci permettra d'appréhender les défaillances institutionnelles pouvant empêcher la définition des droits de propriété ou encore la prise en compte des externalités dues à l'activité économique des populations. Généralement, les pays les moins développés connaissent une densité forte en milieu rural (3/4 de la population djiboutienne vit en milieux urbains). La population rurale pauvre exploite pour vivre le capital naturel à portée de main (DASGUPTA, 2010), ce qui engendre des dégâts environnementaux qui, dans certains cas, sont irréversibles. Dans le contexte de notre thèse, des études empiriques pourront être réalisées à l'aide de dispositifs de mesure et de statistiques permettant d'apprécier et d'évaluer les inégalités environnementales subies et produites par les populations défavorisées.
- L'analyse doit s'articuler dans la dimension multi-usages de l'eau car selon l'utilisation de l'eau (domestique, industrielle, ou agricole etc.), les enjeux sont différents. Il existe par exemple à Djibouti une forte demande en eau par la population urbaine qui s'explique par l'aspect économique du pays (faible secteur secondaire et primaire). En plus, ces différents

usages de l'eau génèrent des conflits et sont sources d'effets externes qu'il convient de corriger. Ce point sera développé en considérant la nécessité de construire une gestion durable de la ressource sur la base de contraintes à la fois locales mais aussi globales (niveau spatial mais aussi temporel).

- Enfin, la mise en place de politiques publiques qui permettront d'intégrer les aspects associés aux inégalités environnementales en visant les populations les plus touchées qui sont à la fois victimes mais aussi productrices de telles inégalités. Ces réflexions révèlent, qu'en matière de politiques sectorielles (secteur eau) et compte tenu des contraintes territoriales spécifiques, les stratégies des acteurs pour apprécier et intégrer les inégalités écologiques au sein d'un ensemble plus global de politiques publiques sont variables. *« Cette variabilité répond à la fois à une perception différente des acteurs, mais aussi à une autonomie d'action des réseaux d'acteurs concernés. Les impacts environnementaux sont à la fois différemment appréciés suivant les catégories sociales, mais auront aussi souvent des effets économiques aux conséquences plus dommageables pour les catégories populaires »* (FABUREL et MALEYRE).

BIBLIOGRAPHIE

ABDELMALKI, L. et MUNDLER, P. (1997), Économie de l'environnement, coll. Les Fondamentaux, Éd. Hachette Supérieur.

ABDOURAHMAN, H.G, (2009), thèse, « Hydrogéologie des milieux volcaniques de l'aquifère basaltique de Djibouti ». Université de Poitiers.

BARON C., ISLA A. (2006), « Marchandisation de l'eau et conventions d'accessibilité à la ressource. Le cas des métropoles d'Afrique sub-saharienne », In EYMARD-DUVERNAY F. (dir.), « *L'économie des conventions, Méthodes et résultats* », tome 2, La Découverte, Paris, p. 369-383.

BIED-CHARRETON Marc *et al.* « La gouvernance des ressources en eau dans les pays en développement : enjeux nationaux et globaux », Mondes en développement, 2006/3 no 135, p. 39-62. DOI : 10.3917/med.135.0039

BONTEMS Ph. et ROTILLON G. (1998), Économie de l'environnement, coll. Repères, Éd. La Découverte.

BOUH H., 2006. Étude de l'aquifère basaltique de Djibouti et des aquifères adjacents : Approche hydrochimique et isotopique. Thèse de Doctorat, 205p. Université de Paris XI, spécialité Sciences de la Terre.

BOYER Luc et BRÉGEON Jacques, « Environnement et développement durable : regard interdisciplinaire », Management & Avenir, 2008/6 n° 20, p. 201-204. DOI : 10.3917/mav.020.0201.

BOYER M., HERZLICH G., MARESCA B. – 2001, « *Un nouveau modèle urbain* » in « *L'environnement, question sociale. Dix ans de recherche pour le ministère de l'environnement* ».

BRIAND Anne, « Les tarifications au coût marginal versus coût moyen face à des chocs climatiques au Sénégal un modèle dynamique d'équilibre général calculable appliqué à l'eau », Économie & prévision, 2008/4 n° 185, p. 103-122.

ROMAGNY Bruno et CUDENNEC Christophe, « Gestion de l'eau en milieu aride : considérations physiques et sociales pour l'identification des territoires pertinents dans le Sud-Est tunisien », Développement durable et territoires [<http://developpementdurable.revues.org/1805?&id=1805>], Dossier 6 : Les territoires de l'eau, mis en ligne le 10 février 2006.

IRATXE Calvo-Mendieta *et al.*, 2010, « Entre bien marchand et patrimoine commun, l'eau au cœur des débats de l'économie de l'environnement », in SCHNEIER-MADANES Graciela. L'eau mondialisée. La Découverte « Recherches », p. 61-74.

A. DOUAI, VIVIEN F.D. (2009), « Économie écologique et économie hétérodoxe : pour une socio-économie politique de l'environnement et du développement durable », Économie.

ZACCAÏ Edwin, VILLALBA Bruno et EMELIANOFF Cyria, 2007, « Inégalités écologiques, inégalités sociales », in « *Développement durable et territoires* ».

FAUCHEUX, S. et NOEL, J.-F. (1995), « *Économie des ressources naturelles et de l'environnement* », Éd. Armand COLLIN.

Ferrari S. 2008, « Espaces littoraux et capital naturel critique : la ressource en eau en milieu insulaire. Une application à la Réunion et à la Guadeloupe » dans « *Gestion des ressources en eau et développement durable local* » (2008) 267-285.

FERRARI S., GAGNON B., LEWIS N. 2007 « Éthique et justice environnementales : quels enjeux pour la protection des ressources naturelles ? » Ressources naturelles et culturelles : enjeux de modélisation interdisciplinaire, d'évaluation et de gouvernance territoriale, Université du Québec à Trois-Rivières, Canada.

GODARD, O. (2004), La pensée économique face à la question de l'environnement, Cahier n° 2004-025, École polytechnique, Paris.

FABUREL Guillaume et MALEYRE Isabelle, 2007 « Le bruit des avions comme facteur de dépréciations immobilières, de polarisation sociale et d'inégalités environnementales. Le cas d'Orly. », Développement durable et territoires « Inégalités écologiques, inégalités sociales ».

JAGLIN S., 2001, « L'eau potable dans les villes en développement : les modèles marchands face à la pauvreté », Revue Tiers t. XLII, n° 166, avril-juin, pp. 275-303., appliquée, tome LXII, n°3, septembre, p. 123-158.

JALLUDIN M., 1993. « Propriétés géométriques et hydrodynamiques des aquifères en milieux volcaniques fissurés sous climat aride ». République de Djibouti. Thèse de 3ème cycle, Université de Poitiers, 261p.

PETIT Olivier, « La politique de gestion des eaux souterraines en France », Économie rurale [<http://economierurale.revues.org/300>], 309 | Janvier février, 2009.

MANCEBO.F, 2006, « Le développement durable », éditeur : Arnaud COLIN, collection : U. géographie.

NIEDDU Martino, PETIT Olivier et VIVIEN Franck-Dominique, « Éditorial : Identités,patrimoinescollectifsetdéveloppementsoutenable»,Développement durable et territoires [<http://developpementdurable.revues.org/8126>], Dossier 12 : Identités, patrimoines collectifs et développement soutenable, mis en ligne le 16 avril 2009.

MÉNARD C., 2001, « Enjeux d'eau : la dimension institutionnelle », Revue Tiers Monde, t. XLII, n° 166, pp. 259-274.

MOLLE F., MOLLINGA P., 2003, « Water Poverty Indicators: Conceptual Problems and Policy Issues », Water Policy, vol. 5, n° 5, pp. 529-544.

MORRISON C., 1995, « Quel cadre institutionnel pour le secteur informel ? », Centre de développement de l'OCDE, Cahier de politique économique n° 10, 33 p.

NORTH D.C., 2005, « Le processus du développement économique », Editions d'Organisation, Paris, 237 p.

LUBELL Mark et LIPPERT Lucas, « La gestion régionale intégrée de l'eau : une étude sur la collaboration ou sur la Politique de l'eau classique en Californie, États-Unis », Revue Internationale des Sciences Administratives, 2011/1 Vol. 77, p. 77-102.

PETIT O., ROMAGNY B. (2009), « La reconnaissance de l'eau comme patrimoine commun : quels enjeux pour l'analyse? ».

Olivier PETIT, « Introduction. La « mise en patrimoine » de l'eau : quelques liens utiles », Mondes en développement, 2009/1 n° 145, p. 7-16. DOI : 10.3917/med.145.0007
économique ?, Mondes en développement, vol. 37, n° 145, p. 29-54.

RAYALEH. O., 1995, « L'accès à l'eau et les inégalités sociales dans la ville de Djibouti », TER de géographie, Université Jean Monnet de Saint-Étienne, 135 p.

RICHARD A., CARON P., JAMIN J.Y., RUF T. (éditeurs scientifiques), 2006. « Coordinations hydrauliques et justices sociales ». Actes du séminaire, novembre 2004, Montpellier, France. Cirad, Montpellier France, Colloques.

THEYS J. (2000), « Quand inégalités sociales et inégalités écologiques se cumulent. L'exemple du "SELA" ». Note du CPVS n° 13, MELT-DRAST, Paris.

THEYS J. (2002), « L'approche territoriale du "développement durable", condition d'une prise en compte de sa dimension sociale ».

AIR

VARIABILITÉ CLIMATIQUE AU LIBAN

Ihab JOMAA, Sleiman SKAF, Randa MASSAAD, Nisrine ELHAJ

Department of Irrigation and Agrometeorology, Lebanese Agricultural Research Institute, Tal Amara, Lebanon.

RÉSUMÉ

Situé sur la Méditerranée, le Liban a deux chaînes de montagnes: Le Mont Liban, qui s'étend parallèlement à la mer et l'Anti-Liban qui s'étend du côté Est parallèlement au Mont Liban. Ces deux chaînes sont séparées par la plaine de la Békaa. La variabilité du climat au Liban est fonction de sa géomorphologie. L'étude est réalisée sur des données climatiques correspondant à des régions variées du Liban. Les valeurs moyennes des précipitations mensuelles montrent qu'à peu près 65 % des précipitations tombent dans les régions climatiques durant décembre, janvier, février, mars et que 10 % tombent en novembre. Pour une même région climatique, la variabilité des précipitations d'une année à l'autre est grande alors que celle des températures négligeable. Les températures minimales moins de 0 °C sont atteintes seulement dans la plaine de la Békaa durant les mois de janvier, février et mars. L'humidité relative mensuelle varie entre 40 et 60 % sur le littoral alors qu'elle diminue jusqu'à 40 % en été dans la Békaa.

Mots clés : *Climat, géomorphologie, précipitations, températures, humidité relative.*

INTRODUCTION

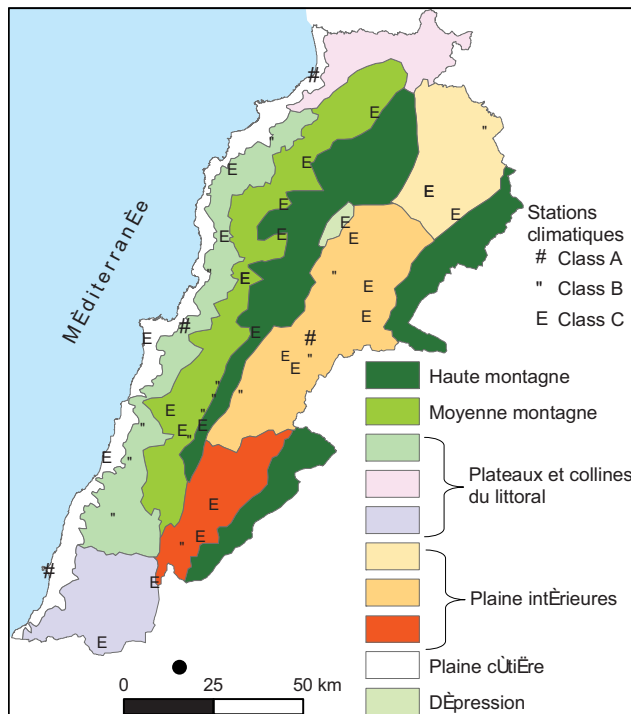
Situé sur les côtes Est de la Méditerranée, le Liban a une superficie de 10452 km², une largeur de 48 km et une longueur de 220 km. Le Liban a deux chaînes de montagnes : Le Mont Liban, qui s'étend parallèlement à la mer (NNE-SSO) et qui domine l'étroite plaine littorale et l'Anti-Liban qui s'étend du côté Est, parallèlement au Mont Liban. Ces deux chaînes sont séparées par la plaine de la Bekaa.

La variabilité du climat au Liban est fonction de sa géographie ainsi, une coupe transversale de 50 km peut montrer des variations allant du climat littoral subtropical à travers les versants typiquement méditerranéens, vers les hautes régions couvertes de neige à climat froid et humide pour aboutir à une plaine subdésertique, dont une partie est semi-aride à aride.

Dans ce contexte, une interprétation des paramètres climatiques est réalisée pour étudier la variabilité climatique des différents régions du Liban.

PRINCIPALES ZONES CLIMATIQUES DU LIBAN

Les variations géomorphologiques du Liban favorisent la grande variabilité du climat dans une superficie limitée de terre (carte 1).



Carte 1 - Géomorphologie du Liban et répartition des stations climatiques

Géomorphologie du Liban

RÉGION GÉOMORPHOLOGIQUE	Ha	%
Zone littorale, dont les contreforts (jusqu'à 250 m), la plaine et le bas plateau d'Akkar (jusqu'à 500m).	134800	13
La plaine de la Bekaa (Nord, Central, Occidentale), contreforts exclus.	150000	14
Total des régions non montagneuses	284800	27
La chaîne du Mont Liban (jusqu'au Litani ; les collines et les montagnes du sud sont exclues)	484800	47
L'Anti-Liban (Jabal el Cheikh inclu)	205600	19
Le Liban Sud (La haute Galilée libanaise Jabal Amel)	70000	7
Total des montagnes	760400	73
Superficie totale	1045200	100

Tableau 1 - Répartition géomorphologique du territoire libanais

Les stations Agro-Météorologiques de L'IRAL

Les stations sont de trois types selon les paramètres enregistrés (carte 1) :

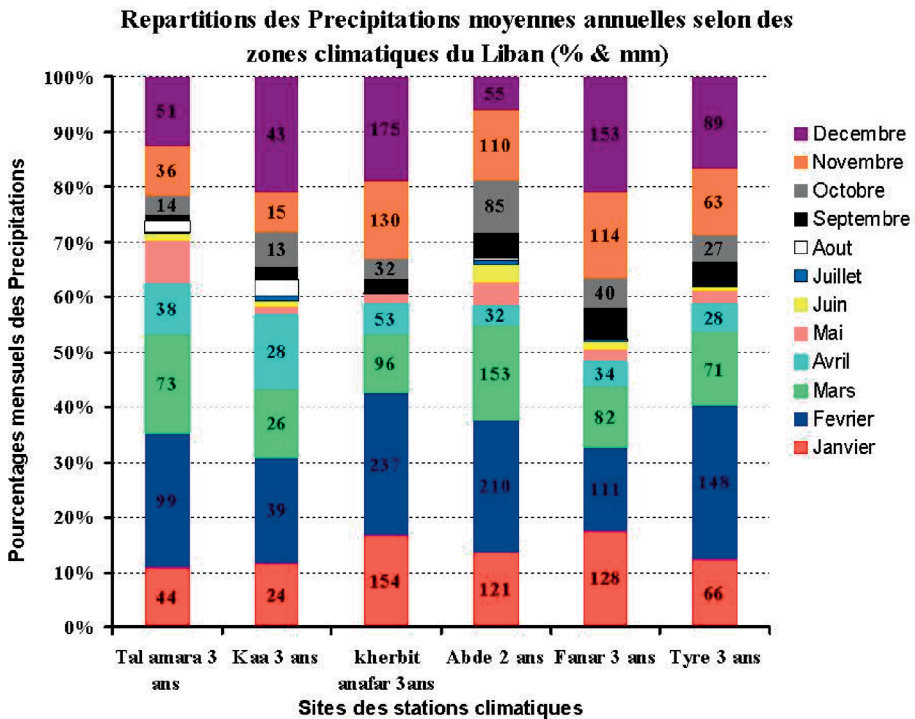
- Classe A : Radiation solaire - Direction du vent - Précipitations - Vitesse du vent - Durée de mouillage - Température de l'air - Humidité relative - Température du sol à 20 et 40 cm - Pression atmosphérique - Point de rosée
- Classe B : Radiation solaire - Direction du vent - Précipitations - Vitesse du vent - Durée de mouillage - Température de l'air - Humidité relative - Température du sol à 20 et 40 cm - Pression atmosphérique - Point de rosée
- Classe C : Précipitations - Durée de mouillage - Température de l'air - Humidité relative

DONNÉES CLIMATIQUES ET INTERPRÉTATION

L'étude est réalisée sur des données climatiques correspondant à des stations réparties dans divers régions du Liban : Bekaa (Nord, Central, Occidental), Littoral, contrefort comprenant les stations de Kaa, Tal amara, Kherbit Anafar, Abde, Fanar et Tyre.

L'interprétation des données porte sur les valeurs mensuelles pour trois années successives (2009-10-11) excepté celle de la station d'Abdé (deux années). De plus, la variabilité des valeurs climatiques d'une année à l'autre (trois années successives) pour une même région est interprétée à partir des écarts-type.

Précipitations



Graph 1 - Répartitions des précipitations annuelles

Les valeurs moyennes des précipitations mensuelles (Graphe 1) montrent qu'à peu près 65 % des précipitations annuelles tombent durant les mois de décembre, janvier, février, mars et que 10 % tombent en novembre dans les diverses régions étudiées.

Les Précipitations annuelles - mensuelles (mm) pour les mois pluvieux sont représentées dans le tableau suivant :

Mois	Tal Amara	Kaa	Kherbit Anafar	Abde	Fanar	Tyre
Janvier	44±20	24±9	154±185	121±71	128±128	66±9
Février	99±98	39±1	237±154	210±52	111±105	148±2
Mars	73±59	26±7	96±136	153±9	82±41	71±22
Avril	38±33	28±35	53±55	32±2	34±13	28±25
Octobre	14±12	13±6	32±24	85±96	40±21	27±18
Novembre	36±44	15±16	130±117	110±83	114±96	63±63
Décembre	51±43	43±32	175±75	55±78	153±180	89±58

Tableau 2 - Précipitations annuelles mensuelles (mm) des mois pluvieux

De plus, les précipitations annuelles augmentent en se dirigeant de la station de la Bekaa Nord vers Tal Amara (Bekaa centrale) puis vers la station de Kherbit Anafar dans la Bekaa occidentale dans la direction du littoral. Les écarts-type de la valeur mensuelle moyenne pour trois années successives (2009-10-11) montrent une grande variabilité dans la même station d'une année à l'autre.

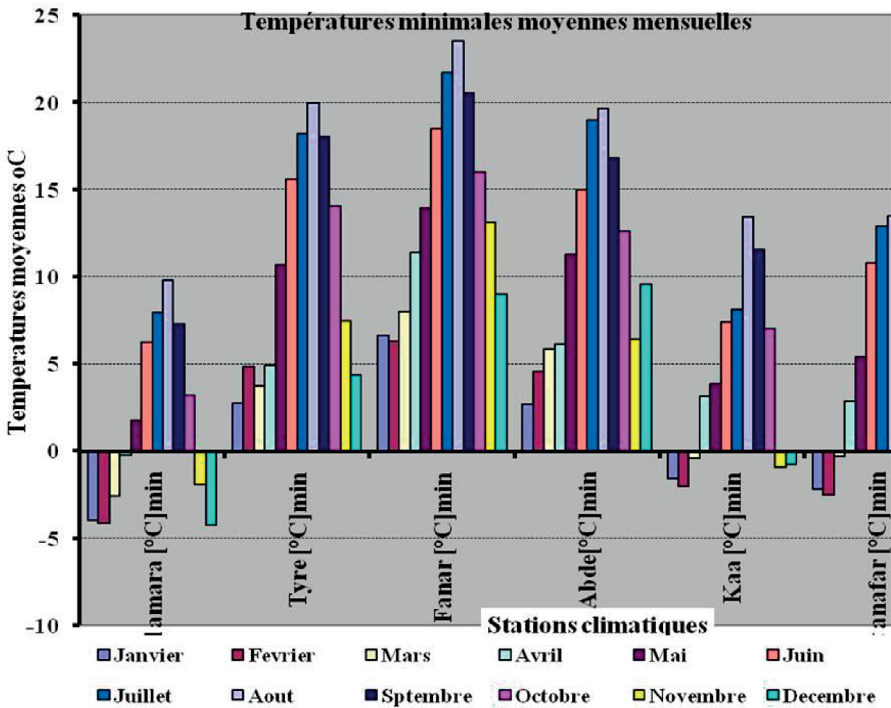
Températures

	[°C]Tal amara	[°C]Tyre	[°C]Fanar	[°C]Abde	[°C]Kaa	[°C]Kherbit Anafar
Janvier	6.3±1	13.6±1	14.8±1	11.9±0	7.7±2	7.1±1
Février	6.8±1	14.0±0	14.7±1	12.9±0	8.8±0	7.4±1
Mars	9.3±2	15.0±1	15.7±2	13.9±0	11.6±2	9.9±2
Avril	12.9±1	17.0±1	18.6±1	16.9±0	15.6±1	13.3±1
Mai	17.0±1	20.2±0	21.7±0	20.2±0	18.9±1	17.4±1
Juin	21.3±1	23.9±0	25.2±1	24.1±0	23.5±1	21.6±1
Juillet	23.8±1	26.2±1	27.3±0	26.9±0	25.0±0	24.3±0

	[°C]Tal amara	[°C]Tyre	[°C]Fanar	[°C]Abde	[°C]Kaa	[°C]Kherbit Anafar
Août	24.3±2	27.3±1	28.3±1	27.8±1	25.6±1	24.4±2
Septembre	20.4±1	25.1±1	26.5±1	25.9±1	22.8±1	20.9±1
Octobre	17.1±2	22.5±1	24.1±1	22.6±1	18.9±2	17.8±2
Novembre	10.3±3	17.2±3	18.9±3	16.6±3	11.2±2	11.4±4
Décembre	7.2±1	14.9±2	16.0±1	16.0±5	8.4±2	8.5±1

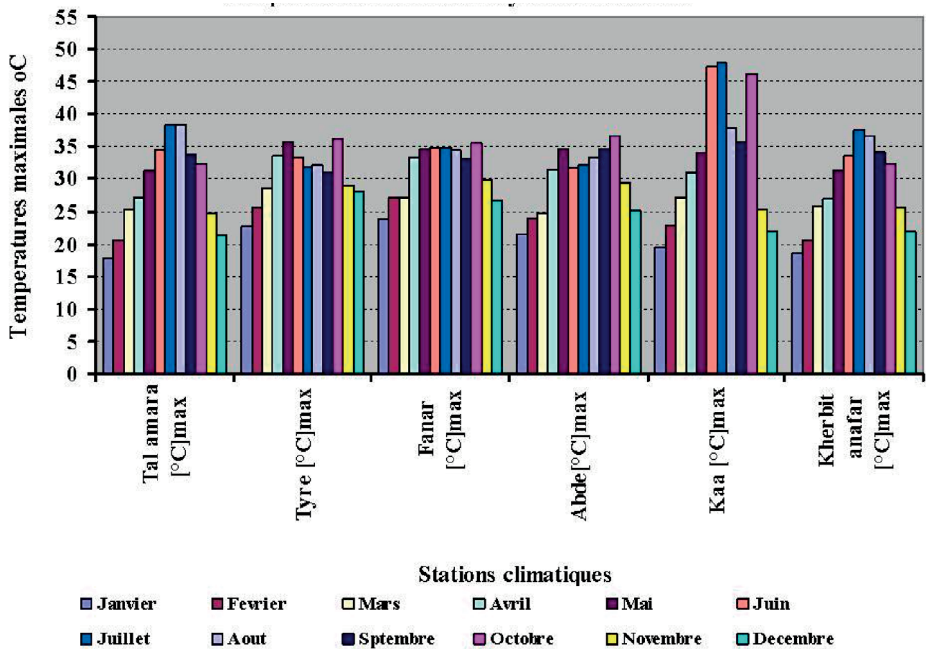
Tableau 3 - Températures mensuelles moyennes dans les principales stations climatiques

En général, les valeurs moyennes des températures (Tableau 2) montrent que les mois de décembre, janvier et février sont les plus froids dans toutes les régions et que le mois d'août est le mois le plus chaud de l'année. Contrairement au cas des Précipitations, les écarts-type de la moyenne des températures pour 3 années successives montrent qu'il n'y a pas des variations significatives d'une année à l'autre.



Graph 2 - Températures minimales moyennes mensuelles

Le Graphe 2 montre que les températures inférieures à 0 °C aux mois de janvier, février et mars sont seulement atteintes dans toute la plaine de la Bekaa (Tal Amara, Kaa et Kherbit Anafar) alors que sur le littoral les températures ne passent jamais en-dessous de 0 °C.

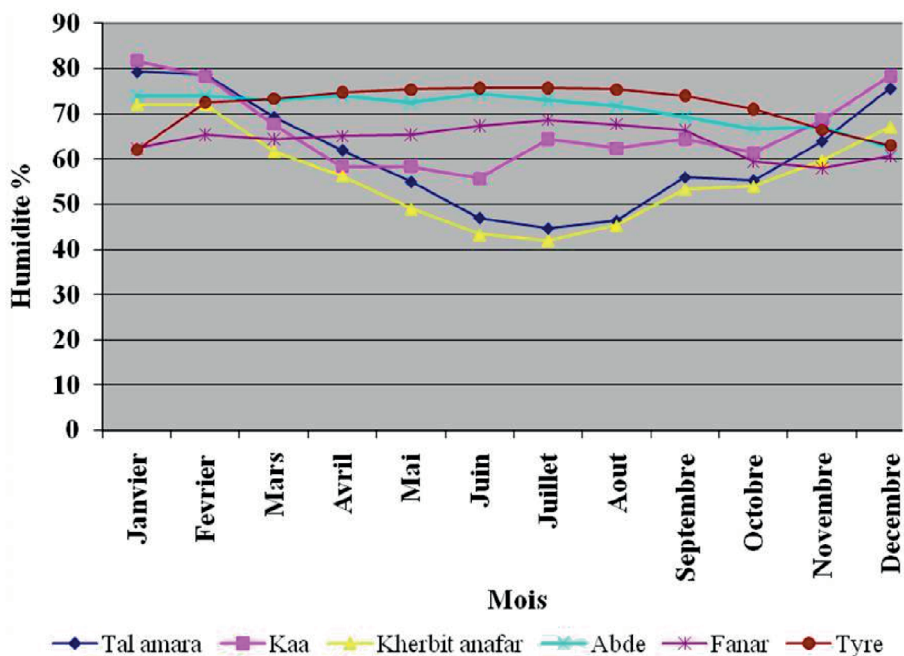


Graphe 3 - Températures maximales moyennes mensuelles

Concernant les températures maximales (Graphe 3), les pics de 45 °C se situent dans la Bekaa nord (Station du village Kaa) au cours des mois de juin, juillet, août et octobre alors que les valeurs pics des autres régions sont proches de la valeur 35 °C.

Humidité Relative

L’humidité relative moyenne sur le littoral varie durant toute l’année selon une marge presque stable allant de 60 à 80 % alors que ces valeurs diminuent pour atteindre moins de 40 % en été dans la Bekaa.



Graph 4 - Humidité relative moyenne dans différentes zones climatiques

CONCLUSION

Cette recherche achevée sur la variabilité climatique au Liban exige d'introduire plus de paramètres climatiques ainsi que plus de régions géographiques du pays. La variabilité du climat au Liban est fonction de sa géomorphologie spécifique créant divers microclimats.

RÉFÉRENCES

Étude de la diversité biologique du Liban (Rapport de synthèse) : Projet (Ministère de l'agriculture Libanais & PNUE), GF/6105-92-72- Publication N°.9, 1996.

Données climatiques des stations de Tal amara, Kaa, Kherbit Anafar, Abdé, Fanar, Tyre pour les années 2009-2010-2011 - Institut de Recherches Agronomiques Libanais (LARI).

LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE URBAINE : ÉVALUATION DE L'IMPACT SUR LE CLIMAT

Ahmad ELMOLL

Département de chimie analytique et sciences de l'environnement, Faculté de santé publique III, Université Libanaise
Laboratoire des Matériaux, Surfaces et Procédés pour la Catalyse, (UMR 7515), Équipe de Physico-chimie de l'Atmosphère
CNRS – Université de Strasbourg

RÉSUMÉ

Avec la croissance de la population mondiale et urbaine, les agglomérations s'étendent et modifient de plus en plus l'occupation du sol. Or, les zones urbaines et industrialisées ont des propriétés bien différentes des zones rurales et naturelles, ce qui a des effets sur plusieurs paramètres du climat.

Cette extension urbaine au niveau mondial a pour conséquence d'accroître la concentration de polluants en tous genres dans l'atmosphère de la terre et soulève donc le problème de la pollution atmosphérique ce qui est susceptible d'influencer le climat de la planète.

On s'intéresse dans cette étude aux interactions chimiques entre pollution atmosphérique et réchauffement climatique et leurs impacts sur l'écosystème.

La mauvaise qualité de l'air causée par la pollution particulière d'origine humaine a des conséquences sur le climat de manière globale. Nous avons étudié d'abord la dispersion et la caractérisation physico-chimique des aérosols urbains ensuite évaluer l'impact des aérosols atmosphériques sur le climat. Finalement l'influence des villes sur le climat local et régional a été étudiée en décrivant les différents paramètres qui peuvent jouer sur le réchauffement climatique.

Mots clés : *Qualité de l'air, aérosols atmosphériques, urbanisation, climat urbain, réchauffement climatique.*

INTRODUCTION

Aujourd'hui, la population urbaine a dépassé en nombre la population rurale et à l'horizon 2030, elle devrait atteindre cinq milliards d'individus pour huit milliards d'habitants sur la planète.

Dans le monde entier, plus de 50 % de l'humanité vit dans des zones urbaines et 75 % de la population mondiale devrait venir vivre dans les villes d'ici 2030 (ONU). Cette urbanisation rapide a engendré une augmentation de la pollution dans les villes de grandes tailles. Cette pollution peut se présenter sous forme gazeuse ou particulaire (aérosols). L'augmentation exponentielle des émissions de gaz et de particules d'aérosol d'origine anthropique constitue un sujet très important que ce soit au niveau de la ville elle-même ou bien au niveau du climat de la planète.

Les particules émises en milieu urbain résultent majoritairement de phénomènes de combustion nécessaire à la production d'énergie (chauffage domestique, industrie, transport). La diversité des propriétés physiques et chimiques de l'aérosol atmosphérique rend son étude et son observation complexes. On peut s'en rendre compte en considérant sa granulométrie qui s'étend de quelques nanomètres à quelques centaines de micromètres, sa morphologie (forme sphérique mais aussi forme d'agrégation fractale), ou encore l'état thermodynamique qui est multiphasique. Ces propriétés statiques sont assez bien connues et décrites. Par contre, connaître la dynamique de l'aérosol sur le plan de sa concentration, de son évolution granulométrique et de sa composition chimique est encore un enjeu scientifique « de taille » (DELHOMME *et al.*). Cette étude s'appuie sur des travaux qui abordent l'impact de la qualité de l'air sur le climat, notamment la concentration de particules et d'ozone, ainsi que la réciproque, puis les effets de ces polluants sur le réchauffement climatique de la terre.

La pollution particulaire d'origine anthropique est en partie responsable de la mauvaise qualité de l'air dans les grandes agglomérations, et, par conséquent, elle a des effets néfastes sur la santé humaine et influence aussi le climat de manière globale. Cette étude s'articule autour de trois grands points :

- Caractériser physico-chimique des aérosols urbains.
- Évaluer l'impact des aérosols atmosphériques sur le climat.
- Étudier les effets des aérosols urbains sur le climat à différentes échelles.

LES AÉROSOLS ATMOSPHÉRIQUES

Les activités humaines jouent un rôle important dans l'évolution de la composition chimique de l'aérosol atmosphérique, tant à l'échelle urbaine ou régionale qu'au niveau planétaire.

La composition chimique de la matière particulaire est fortement fonction de leur source. Les particules fines sont essentiellement composées d'aérosols secondaires (issus de conversions de gaz en particules). Il est établi également, que les activités humaines causent de la pollution atmosphérique parfois très importante au niveau local ou urbain voire à l'échelle de régions entières (pluies acides, pollution photochimique, pollutions par des pesticides et pour les composés persistants, etc). Présents à des concentrations pouvant atteindre, dans des zones fortement polluées, plusieurs dizaines voire plusieurs centaines de $\mu\text{g m}^{-3}$, les particules sont responsables d'une grande partie de dépassements des normes de qualité de l'air dans les grandes villes du monde.

Les aérosols atmosphériques sont parmi les constituants primordiaux de l'atmosphère où le milieu urbain est caractérisé par une grande variabilité de la composition chimique et des paramètres météorologiques (température, vent, humidité) des basses couches de l'atmosphère. D'autre part, ils jouent un rôle important sur le bilan radiatif de la Terre et sont également responsables des phénomènes de réduction de visibilité atmosphérique.

Compte tenu de l'importance de leurs effets sur l'environnement, il est indispensable, dans un premier temps, de suivre leur évolution tout au long de leur déplacement dans l'atmosphère, à différentes échelles : locale, régionale et globale.

Dispersion des aérosols dans l'atmosphère

La dispersion des polluants atmosphériques dans les basses couches comporte trois événements importants :

- Émission : rejet artificiel, libération « naturelle » (active), mise en suspension par l'écoulement (passive).
- Transport par le vent dans l'atmosphère.
- Dépôt sur le sol et dans l'hydrosphère : sec ou humide.

Les aérosols peuvent demeurer dans l'atmosphère plus ou moins longtemps, selon leur taille. D'autres facteurs peuvent influencer sur leur durée de séjour dans l'air. On distingue généralement 2 types de facteurs affectant la dispersion dans les basses couches :

Facteurs « directs » :

- Conditions météorologiques : vitesse du vent, stabilité thermique de l'atmosphère, turbulence.
- Structure du paysage : nature du sol (rugosités, couverts végétaux, surfaces humides), obstacles, reliefs, etc.

Facteurs « indirects » :

- Type d'aérosols particules : lourde, légère, réactive, etc.
- Source : caractéristiques géométriques (hauteur, taille), intensité.
- Vitesse d'éjection, (quantité), température et composition du rejet.

Ces aérosols cependant ne restent pas indéfiniment dans l'atmosphère; dans la partie basse de l'atmosphère (la troposphère), ils restent plusieurs jours dans l'air. Ainsi, avant de disparaître, ils ont le temps de se transformer, par différents mécanismes. Ces transformations sont la coagulation, la condensation et les modifications dans les nuages. Ces différents mécanismes sont expliqués dans la partie suivante.

- La pollution atmosphérique : du local au global : Variabilité spatio-temporelle de la pollution particulaire.

Caractérisation physico-chimique des aérosols urbains

Les activités humaines étant très variées, les particules émises révèlent donc des compositions chimiques mais aussi des propriétés physiques très différentes. Les processus de combustion émettent directement des particules organiques (OCp) ainsi que du carbone-suie (*Black Carbon*, BC). Mais ces processus émettent également des gaz, des composés organiques volatils (COV), et d'aérosols organiques secondaires (AOS).

Les aérosols anthropiques urbains sont principalement constitués de particules submicroniques, formées près des sources d'émission, ayant une durée de vie suffisamment importante pour évoluer et grossir. Pratiquement, il est généralement admis que les très fines particules primaires émises (OCp, BC) concentrées sur les villes grossissent au cours de leur transport dans le panache de polluants par coagulation de particules entre elles ou par condensation de gaz et d'espèces secondaires sous l'effet de la photochimie (BRIDIER *et al.*)

Formation et évolution de l'aérosol organique secondaire

La formation des aérosols dans l'atmosphère se fait :

- soit par transformation de gaz en particules (nucléation homogène ou hétérogène)
- soit par fragmentation des liquides ou solides.

Ces aérosols anthropiques urbains sont principalement constitués de particules submicroniques, formées près des sources d'émission, ayant une durée de vie suffisamment importante pour évoluer et grossir suivant ce schéma.

Contrairement aux impacts climatiques des émissions de gaz à effet de serre, (GES) qui se manifestent sur des dizaines ou centaines d'années, l'impact des émissions polluantes sur la qualité de l'air dans la couche limite est beaucoup plus rapide : de quelques heures à quelques semaines. Ces temps caractéristiques dépendent des processus physiques et chimiques agissant sur les polluants : la dispersion, les transformations chimiques et le dépôt sur le sol et sur la végétation. Pratiquement, il est généralement admis que les très fines particules primaires émises (OC, BC) concentrées sur les villes grossissent au cours de leur transport dans le panache de polluants par coagulation de particules entre elles ou par condensation de gaz et d'espèces secondaires sous l'effet de la photochimie (MOLINA *et al.*).

Les travaux menés en laboratoire sur l'étude expérimentale des aérosols portent notamment sur la caractérisation très fine de leur composition chimique, puisque c'est à partir de cette composition chimique que l'on traduit l'impact des aérosols sur le forçage radiatif terrestre.

La concentration des particules dans l'atmosphère représente la quantité de particules par unité de volume. Elle peut s'exprimer en masse ou en nombre par unité de volume, le résultat d'analyse change selon le milieu :

La concentration des particules dans l'atmosphère	
<i>Milieu de l'océan</i>	<i>4,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$</i>
<i>Zone rurale</i>	<i>15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$</i>
<i>Zone urbaine</i>	<i>Supérieur à 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$</i>

Tableau 1 - Concentration des particules dans les différents zones.

La concentration des particules dans l'air dépend fortement de l'endroit où on se trouve : La concentration dans la zone rurale : 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ est sept fois inférieure qu'en zone urbaine (100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). D'autre part, l'analyse de particules recueillies montre une multitude de molécules qui entrent dans la composition de l'aérosol captée.

Quantifier et qualifier les sources de pollution particulaire organique, qu'elles soient primaires (émissions directes) ou secondaires (formation par oxydation et condensation de composés organiques initialement gazeux) est nécessaire pour évaluer l'impact des aérosols sur le climat.

LES AÉROSOLS ATMOSPHÉRIQUES ET LEURS INFLUENCES SUR LE CLIMAT

D'après ce qui précède on a montré que tous les aérosols n'ont pas le même effet sur le climat terrestre. En effet, l'impact de ces aérosols sur la chimie atmosphérique et le bilan radiatif dépend de leurs propriétés (taille, composition chimique et hydrosolubilité etc.) et susceptibles de changer en fonction des sources et d'évoluer durant le transport des particules.

L'étude de l'impact radiatif de l'aérosol carboné

La pollution peut se présenter sous forme gazeuse ou particulaire (aérosols). Malgré l'importance de la pollution particulaire, certains processus d'émission et de formation des particules, notamment des particules organiques, restent encore mal compris. Or, cette connaissance est indispensable pour, à terme, réduire ce type de pollution et son impact. Le réchauffement climatique est désormais une réalité et l'impact des gaz à effet de serre (GES) est avéré, mais ils ne sont pas les seuls acteurs. Les particules agissent sur le climat selon plusieurs effets :

- Les effets directs : absorption et diffusion des rayonnements solaires.
- Les effets indirects : les aérosols peuvent interagir directement avec les nuages, qui ont eux-mêmes un fort impact radiatif sur le bilan énergétique terrestre. Lorsque des nuages se forment, les aérosols servent de noyaux de condensation (Taille des gouttelettes, pouvoir réfléchissant, durée de vie des nuages etc.).

De plus, les aérosols absorbants, en ayant un effet sur les profils de température dans l'atmosphère, ont un impact sur les conditions de formation des nuages où les propriétés de l'aérosol urbain peuvent influencer les formations nuageuses et de brouillard, ainsi que leur dissipation (les effets semi-directs).

Les aérosols atmosphériques et leurs effets sur le climat

Les mesures physicochimiques et optiques des aérosols obtenues au sol, par observations aéroportées ont été utilisées afin d'estimer l'impact des particules atmosphériques sur le bilan radiatif en milieu urbain. Les résultats ont montré que ces particules majoritairement de taille submicronique (inférieure au micromètre) ont une forte capacité à absorber le rayonnement visible, due notamment à de fortes concentrations en carbone suie. Leur impact serait de diminuer de manière sensible le rayonnement solaire atteignant la surface et de réchauffer la couche limite urbaine dans laquelle la majorité des aérosols de pollution est située. L'une des questions restant maintenant à étudier est la manière dont ces particules peuvent modifier

la dynamique de l'atmosphère en milieu urbain et notamment comment elles peuvent favoriser l'installation de « brises urbaines » et agir sur la distribution des polluants à l'échelle régionale.

L'URBANISATION ET LE RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE

Dans cette partie nous allons faire la liaison entre les polluants engendrés par les grandes mégapoles et le réchauffement global.

L'urbanisation engendre des polluants qui affectent les différentes couches de l'atmosphère. En effet, les grandes mégapoles concentrent une partie importante des émissions de polluants de leur pays. Ainsi, les panaches qui en sont issus contiennent de grandes quantités de précurseurs d'ozone et d'aérosols mais aussi de gaz à effet de serre (CO, CH₄, COV) à même de jouer un rôle significatif à l'échelle globale.

D'un autre côté, le transport de panaches urbains peut affecter la composition de l'atmosphère sur de grandes distances jusqu'à la centaine de kilomètres pour les moyennes et hautes latitudes, jusqu'à l'échelle globale pour les basses latitudes via la haute troposphère et donc influencer à la fois la qualité de l'air et le climat.

De plus l'évolution des mégapoles est intimement liée au problème du réchauffement climatique global, dans la mesure où le climat influe à la fois sur les mécanismes clés contrôlant la qualité de l'air et particulièrement dans les zones urbaines, ainsi que sur l'urbanisation des différentes zones du globe. Mais le climat est également impacté par celles-ci au travers de leurs apports de polluants dans l'atmosphère sur l'ensemble du globe (MOLINA *et al.*).

L'urbanisation et le climat urbain : évaluation de l'intensité des îlots de chaleur urbains

Le réchauffement observé depuis 50 ans est attribuable aux activités humaines. Cette activité se traduit par l'émission d'une quantité de plus en plus importante de polluants et de gaz à effet de serre (GES).

Dans certaines villes du monde, généralement celles de plus grandes ampleurs (mégapoles), on retrouve certains secteurs (agglomérations

d'habitations, de zones industrielles et commerciales, de circulation automobile) où la température est plus élevée que dans les secteurs environnants (zone rurale ou zone voisine). Lorsque la différence de température entre ces secteurs devient significativement plus élevée, on les identifie comme des « îlots de chaleur urbains ». Ce phénomène caractérise un secteur urbanisé où les températures de l'air et des surfaces sont supérieures à celles de la périphérie rurale. En effet, ces zones urbaines ont des surfaces (pierre, ciment) qui ont des caractéristiques très différentes des surfaces naturelles (prés, forêts et champs). Ceci a un impact sur les transferts de chaleur et de l'eau, sur l'écoulement de l'eau et modifie la température, les précipitations et la couverture nuageuse (MESTESTAYER *et al.*).

Compte tenu de la grande influence des zones urbaines sur l'environnement une description des micro-climats et climats de méso-échelle (quelques dizaines de km) seront nécessaires.

Les impacts des îlots de chaleur urbains sur l'environnement

L'apparition d'un îlot de chaleur est la manifestation climatique la plus connue de l'influence du milieu urbain sur son climat. En modifiant l'occupation du sol et en rejetant des polluants dans l'atmosphère, les villes influencent plusieurs paramètres du climat, en particulier la température et la diffusion, ce qui a des répercussions sur la qualité de l'air en ville.

L'îlot de chaleur urbain se traduit tout d'abord en altitude par une couche limite urbaine plus chaude, mais aussi plus riche en polluants, qui prend la forme d'un dôme ou d'un panache poussé par les vents. Ces îlots de chaleur urbains ont donc des conséquences immédiates sur la qualité de l'air, car ils contribuent à la diffusion des polluants et à la formation du smog. En effet, le smog se forme sous l'effet combiné des rayons du soleil, de la chaleur et de divers polluants (AKBARI *et al.*).

Les causes des îlots de chaleur urbains

La formation des îlots de chaleur urbains ainsi que leur intensité et leur variabilité spatio-temporelle sont déterminées à la fois par des causes naturelles et des causes anthropiques (Tableau 2). Malgré l'impact important de l'emplacement géographique, du climat local et de facteurs météorologiques variables tels que la température, l'humidité et le vent, les sources anthropiques demeurent toutefois les principales causes de l'apparition du phénomène.

Causes naturelles	Causes anthropiques
<i>Climatiques (ou météorologique) : saisons, couverture nuageuse, vitesse du vent etc.</i> <i>Géographiques : emplacement de la ville, relief, montagne, vallée, plaine, etc.</i> <i>Exposition (versant Sud/Nord);</i>	<i>Morphologiques : densité des bâti- ments, matériaux de construction utilisés, concentration et taux de crois- sance des végétaux ;</i> <i>Activités humaines : rejets de chaleur anthropique et de polluants</i> <i>Structure urbaine : taille de la ville, oc- cupation du sol etc.</i> <i>Énergétique ; émission de GES</i>

Tableau 2 - Causes de la formation d'îlots de chaleur.

Afin de mieux cerner l'influence des sources anthropiques sur la variation du climat urbain, nous aborderons de façon plus explicite l'influence des villes sur le climat local et régionale et étudions les conséquences des ICU.

La présence des zones urbaines, en modifiant profondément les propriétés de la surface, perturbe les échanges d'énergie et de matière entre celle-ci et l'atmosphère et induit des perturbations notables du climat à l'échelle locale. Si les phénomènes de pics de pollution et les GES sont les manifestations les plus médiatiques de ces perturbations, le phénomène de l'îlot de chaleur urbain représente un élément clés dans l'explication de l'impact de l'atmosphère urbaine sur le climat locale et même régionale.

Influence des villes sur le climat local et régional

Les concentrations importantes d'aérosols en ville peuvent influencer sur la thermodynamique de la couche limite urbaine (CLU). En effet, les activités humaines, à travers les différents phénomènes de combustions, rejettent dans l'atmosphère urbaine des quantités importantes de polluants (gaz, aérosols, etc.) de chaleur et de vapeur d'eau. Ces rejets de chaleurs en milieu urbain sont un autre facteur important contribuant à la formation des îlots de chaleur. La source anthropique de matière et d'énergie induit des modifications non négligeables des caractéristiques de l'atmosphère urbaine. Plusieurs de ces sources de chaleur émettent également des gaz à effet de serre (GIGUÈRE *et al.*).

D'autre part, les aérosols émis dans les basses couches de l'atmosphère ont un impact environnemental car il peut y avoir une aggravation de l'effet de serre. En effet, les aérosols peuvent modifier localement le climat en transformant la structure des basses couches de l'atmosphère et en augmentant la fréquence des épisodes de brouillard au sol. De son côté, le climat a lui aussi un impact sur la pollution atmosphérique. À l'échelle régionale, l'augmentation de la température moyenne et des pics de température extrême, accentue la pollution atmosphérique.

Finalement, les villes exercent également une influence dynamique sur les vents. La rugosité du sol et le frottement affaiblissent la vitesse générale des vents dans les basses couches de l'atmosphère jusqu'à une certaine altitude. Ces effets augmentent avec la taille de la ville, ainsi qu'avec la densité et la hauteur du bâti : ils peuvent être ressentis jusqu'à au moins 500 m au-dessus du sol dans les grandes villes. Il en résulte une ventilation et une dispersion des polluants moins bonne en ville qu'en campagne (KANAKIDOU *et al.*).

Mis à part les gaz à effet de serre, (GES), qui agissent à l'échelle planétaire, les villes rejettent encore des polluants comme l'ozone qui influencent d'autres paramètres du climat à l'échelle locale et régionale.

Conséquence des îlots de chaleur urbains

Les îlots de chaleur urbains vont influencer la diffusion et la dispersion des polluants de plusieurs manières. Tout d'abord, ils favorisent

le développement d'ascendances d'air et la formation d'un dôme chaud au-dessus des villes, d'autre part, quand l'air chaud s'élève au-dessus de la ville, il peut provoquer alors une dépression qui attire l'air plus frais des campagnes alentours. Les polluants émis à la périphérie de l'agglomération sont dispersés vers le centre-ville où s'installe une atmosphère fortement polluée.

D'autre conséquence des ICU est l'augmentation de l'usage d'énergie pour la climatisation des édifices et véhicules et donc plus de production de gaz à effet de serre et l'augmentation de la formation du smog urbain (VOOGT et al.). Notons à la fin que l'intensité de l'ICU change selon les types de polluants fréquemment rencontrés dans les villes (O_3 , PM, CH_4 , CO_2).

L'URBANISATION ET LE RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE

L'urbanisation excessive des grandes villes est au cœur de la problématique du réchauffement climatique. Dans cette partie, on présentera une description complète et plus quantitative de l'impact des mégapoles mondiales (population dépassant les 10 millions d'habitants) sur les différentes couches de l'atmosphère et le climat de la planète « CLU » (CALNAY et al.).

La couche limite est le siège de toute pollution, directement ou quasi-directement influencée par les émissions polluantes injectées dans l'atmosphère. Contrairement aux impacts climatiques des émissions de gaz à effet de serre qui se manifestent sur des dizaines ou centaines d'années, l'impact des émissions polluantes sur la qualité de l'air dans la couche limite est beaucoup plus rapide : de quelques heures à quelques semaines. Ces temps caractéristiques dépendent des processus physiques et chimiques agissant sur les polluants : la dispersion, les transformations chimiques et le dépôt au sol.

La majorité des scientifiques pensent aujourd'hui que les grandes villes influencent particulièrement le climat à l'échelle régionale et locale. Cependant, pour les mégapoles la mesure des facteurs de formation de l'îlot de chaleur dans tout ou partie d'une ville est délicate. On peut d'abord estimer que son importance est corrélée aux volumes de gaz à effet de serre (GES) émis sur son territoire.

Notons enfin que les ICU et le réchauffement climatique sont deux

phénomènes différents, les effets de l'un sur l'autre aggravent les impacts de chacun. Ainsi, le changement climatique qui prévoit une augmentation des températures générales rendra l'ICU encore plus intense. De même, dans une moindre mesure toutefois, les dynamiques qui président à la formation des ICU et leurs conséquences sont d'autant plus de facteurs du changement climatique (JONES *et al.*).

Le rôle important des aérosols dans les réchauffements climatiques

Le phénomène de l'effet de serre urbain est dû au piégeage de l'énergie solaire par l'atmosphère à travers des gaz absorbants. Sur une échelle plus large, d'autres polluants de l'air comme les aérosols localisés au niveau de la CLU, vont porter et transporter d'autres polluants vers la troposphère pour subir et enchaîner ensuite plusieurs transformations chimiques.

Rétroactions entre polluants de l'air et gaz à effet de serre dans l'atmosphère

Il y a de nombreuses rétroactions chimiques entre polluants de l'air et gaz à effet de serre, notamment avec le méthane dont la durée de vie dans l'air - et son potentiel de réchauffement - sont liés aux concentrations en radical hydroxyle (OH) dans l'air. Cette espèce chimique se forme à partir de l'ozone troposphérique et joue un rôle clé dans la dégradation chimique du méthane et aussi de nombreux polluants (NO_x, CO₂, COV) de sorte que leurs émissions ont un impact sur le cycle de vie du radical OH et celui du méthane. Notons que l'ozone est à la fois un GES et un des polluants ayant la plus forte influence sur la qualité de l'air (JACOB *et al.*).

D'un autre côté, le réchauffement climatique global a de nombreux impacts sur la pollution atmosphérique en modifiant divers paramètres météorologiques qui se répercutent sur la qualité de l'air (vagues de chaleur à l'origine de fortes pollution par l'ozone, impacts de la circulation atmosphérique sur la dispersion des polluants, effets des changements du régime des précipitations sur les dépôts des polluants, etc.). On suppose

qu'un monde plus chaud pourrait présenter moins de vents pour dissiper la pollution au-dessus et à l'extérieur des villes, et que l'augmentation des niveaux de vapeur d'eau autour des villes pourrait aider à catalyser la production d'ozone troposphérique (le principal composant du smog urbain).

Finalement, le changement climatique et la pollution atmosphérique sont tous deux principalement causés par des émissions polluantes. On peut dire clairement qu'ils sont étroitement liés et exercent une influence l'un sur l'autre.

CONCLUSION

L'estimation des quantités d'aérosols dans l'atmosphère et la caractérisation de leurs propriétés physico-chimiques et optiques est nécessaire pour les études relatives au changement climatique ou au suivi de la qualité de l'air. Les travaux menés en laboratoire ont pointé le rôle important des polluants ayant un impact climatique (gaz à effet de serre, particules) dans le réchauffement global de la terre.

D'autre part, on a constaté, d'après les nombreuses données relevées à travers cette étude, que l'importance des ICU sur l'évolution de la température locale et régionale est confirmée.

Pour cela plusieurs facteurs qui peuvent influencer les interactions entre les polluants et les GES à l'échelle locale et micro-locale ont été étudiés.

Une autre méthode pour évaluer l'impact des activités humaines sur le climat consiste à comparer l'impact des aérosols sur le bilan radiatif de la planète.

Cette étude a également permis d'apporter des résultats conduisant à deux faits :

1. L'ICU a un double rôle dans le processus de l'évaluation de la température sur le climat, premièrement sur le réchauffement global et deuxièmement sur le climat local et global.
2. La responsabilité des GES dans le phénomène du réchauffement réel du globe est sans doute prouvée mais il faut prendre en compte les effets des aérosols même si leur durée est bien plus courte que celui de GES.

Comme perspective, aujourd'hui la ville doit se positionner face au réchauffement climatique annoncé, dont l'une des conséquences devrait être l'augmentation de l'îlot de chaleur. L'analyse de l'impact du changement climatique global sur le climat doit passer au premier plan dans les études sur le climat urbain. Pour réduire donc le réchauffement climatique, l'effort devrait porter non seulement sur la réduction des émissions de GES, mais également sur les aérosols carbonés.

REMERCIEMENTS

Ce travail a bénéficié d'un soutien financier de l'AUF dans le cadre d'une bourse de perfectionnement à la formation et à la recherche. Nous remercions vivement cet organisme pour son soutien. L'auteur tiens également à remercier vivement les acteurs techniques et scientifiques de ce projet, ainsi que les partenaires ayant accueilli les stations de mesure et les personnes ayant fourni des données indispensables. Enfin, un remerciement tout particulier à Monsieur MILLET, Professeur au CNRS de Strasbourg ainsi qu'à son équipe pour son aide sur le terrain.

RÉFÉRENCES

ALCOFORADO M.J., 2005 : « Réflexions sur l'application de la climatologie urbaine à l'aménagement ». Actes du 18^{ème} colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Gênes, 7-11.09.2005, p. 13-16.

AKBARI H., POMERANTZ M. et TAHA H., 2001, « Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. Solar energy », Vol. 70, p.95-310.

BRIDIER, S., QUENOL, H. 2006. « Climat et mesures de la pollution en ville, une forte variabilité spatio-temporelle ». In « *Ville et environnement* », Éditions SEDES (FR), 315-344.

BERAL-GUYONNET I. 1996 : Influence des facteurs météorologiques sur la pollution atmosphérique : le cas de l'agglomération lyonnaise, RGL Risques et pollution industriels et urbains, volume 71, n°1, Lyon, p.71-77.

Cities and climate change 2011 : Global report on human settlements, 2011, programme des nations unies pour les établissements humaines (ONU – Habitat)

CALNAY E., M. CAI, 2003, *Impact of urbanization and land-use change on climate*, Nature, 423, p.528-331.

COLOMBERT, Morgane 2005 « Le climat urbain, un enjeu pour demain ». Mémoire de Master, Paris, Université de Marne-la-Vallée. p.91.

COLOMBERT M., 2008, Contribution à l'analyse de la prise en compte du climat urbain dans les différents moyens d'intervention sur la ville, Université Paris-Est, Thèse de Doctorat, p. 538.

DELHOMME Olivier, 2008. Thèse de Doctorat, Université de Strasbourg, Étude de la variabilité et de l'évolution de la composition chimique de l'aérosol organique en fonction du lieu et de la période de prélèvement, p.115-144.

GUILLAUME B. 2006. Les aérosols : émissions, formation d'aérosols organiques secondaires, transport longue distance zoom sur les aérosols carbonés en Europe. Thèse de l'Université de Toulouse III, p. 112-144.

GIGUÈRE M., 2009, Mesures de lutte aux îlots de chaleur urbains, Institut National de Santé publique du Québec. P.77.

Ipcc, climate change. 2001. Edited by J.T. Houghton et al Cambridge Uni Press New York 994p.

JONES, D.H. LISTER et Q. Li. Thèse 2008 « Urbanization effects in large-scale temperature records, with an emphasis on China » Journal of Geophysical Research Atmospheres.

JACOB D 1999, Tropospheric chemistry of OH and ozone: new developments and challenges IGAC, Bologna, Italy.

KANAKIDOU, M., N. MIHALOPOULOS, T. KINDAP, U. Im, M. VREKOUSSIS, E. GERASOPOULOS, E. DERMITZAKI, A. UNAL, M. KOÇAK, K. A. 2011, Megacities as hot spots of air pollution in the East Mediterranean Atmospheric Environment, 45 (6), p.1223-1235.

MESTESTAYER P.-G., ANQUETIN S. 1995. — « Climatology of cities », Third International Conference on Air pollution, Air pollution 95, Actes du colloque, p. 1-35.

MOLINA M.J., MOLINA L.T. 2004: Megacities and atmospheric pollution, Journal Waste Management Association, Vol 54: p.644-680.

SIMON D., 2007, Cities and global environmental change: exploring the links, The Geographical Journal, Vol. 173, No. 1, March 2007, p. 75-79.

VOOGT, J.A , 2002. Urban heat island, Encyclopedia of global environmental change, Vol 3, p. 660-666.

WANNER H., HERTIG J.-A., 1984 : Urban climatological properties of small cities in complex terrain. Journal of Climate and Applied Meteorology, Vol. 23, n°12, p. 1614-1625.

LES POLLUANTS ATMOSPHÉRIQUES À BEYROUTH : MESURES ET MODÉLISATION

*AFIF C.^{1,2}, BORBON A.², WAKED A.^{1,3}, SALAMEH T.^{1,4,5}, EL HADDAD I.⁶,
SAUVAGE S.^{4,5}, BRIOUDE J.^{7,8}, FORMENTI P.², DOUSSIN J.-F.², LEONARDIS
T.^{4,5}, LOCOGE N.^{4,5}, PRÉVOT A.⁶, BALTENSBERGER U.⁶, SEIGNEUR C.³*

¹ Département de chimie, Faculté des sciences, Université Saint-Joseph, Liban

² Laboratoire Interuniversitaire des Systèmes Atmosphériques, LISA, CNRS, Universités Paris-Est Créteil et Paris-Diderot, 61 av. du Général de Gaulles, 94010 Créteil, France

³ CERE, Laboratoire commun École des Ponts ParisTech/EDF R&D, Université Paris-Est, Champs sur Marne, France.

⁴ École des Mines de Douai, Département Chimie et Environnement, 941 rue Charles Bourseul, 59500 Douai, France

Université de Lille Nord de France, F-59000 Lille, France.

⁶ Laboratory of Atmospheric Chemistry, Paul Scherrer Institut, Villigen, Suisse

⁷ Chemical Science Division, ESRL, NOAA, Boulder, Colorado, États-Unis

⁸ CIRES, University of Colorado, Boulder, États-Unis

INTRODUCTION

L'atmosphère, élément indispensable à la vie sur Terre, est altérée par une urbanisation galopante et un développement industriel démesuré. Plusieurs conséquences en découlent : « trou » dans la couche d'ozone, émissions de gaz à effet de serre, réchauffement climatique, dégradation de la qualité de l'air. Cette dernière se manifeste par des épisodes de pollutions atmosphériques qui se multiplient dans les zones fortement urbanisées. Des concentrations élevées d'ozone sont par exemple fréquemment observées dans le panache de la plupart des grandes agglomérations, lors de situations de vent faible et de fort ensoleillement. L'ozone est un polluant qualifié de secondaire car il n'est pas directement émis mais produit chimiquement dans l'atmosphère. Il provient de l'oxydation photochimique des composés organiques volatils (COV) en présence d'oxydes d'azote (NOx). Ces polluants sont directement émis dans l'atmosphère par les activités humaines (le trafic notamment) ; ils sont ainsi qualifiés de polluants primaires. L'ozone présente, comme d'autres polluants (par exemple les aérosols, dioxyde de soufre, les acides, le benzène, le dioxyde d'azote...) des effets sanitaires nocifs. Ces derniers sont plus importants sur les personnes ayant des difficultés respiratoires (asthmatiques, etc.), les personnes âgées ainsi que sur les jeunes enfants. L'éventail des effets sur la santé est large, mais ce sont surtout les systèmes respiratoires et cardio-vasculaires qui sont affectés.

Ce travail d'évaluation sanitaire, de prévention, d'action, est indissociable de la compréhension des processus physico-chimiques responsables de cette pollution. Que deviennent les composés émis dans l'atmosphère ? Deviennent-ils plus ou moins toxiques ? Comment interagissent-ils ?

Si les émissions de COV et de NO_x par les activités naturelles et humaines ont fait l'objet de nombreuses études, elles restent relativement bien connues mais encore mal quantifiées. L'élimination de ces polluants primaires par les processus chimiques atmosphériques est également bien documentée (ATKINSON, 2000). Les composés organiques volatils (COV) sont oxydés selon un mécanisme complexe. Il s'agit d'une oxydation progressive, mettant en jeu une multitude d'intermédiaires organiques oxygénés, appelés composés organiques volatils oxygénés (COVO). Les COVO sont aujourd'hui au cœur de nombreuses interrogations. En phase gazeuse, ils sont directement impliqués dans la production d'ozone. Les COV secondaires sont par ailleurs fortement hydrosolubles et se dissolvent donc dans la phase aqueuse des systèmes nuageux. L'oxydation de cette matière organique dissoute modifie ainsi les bilans aussi bien des nuages (production d'acides et d'oxydants notamment) que de la phase gazeuse (ozone par exemple). De plus, les COVO sont peu volatils et mènent à la formation d'aérosols organiques secondaires (AOS). Les AOS absorbent et diffusent le rayonnement solaire ; ils ont donc un effet direct sur le climat. Les AOS ne sont pas, quant à eux, les seuls aérosols organiques dans l'atmosphère. Comme les gaz, les aérosols organiques se divisent en deux catégories : les primaires et les secondaires. Leur impact néfaste sur la santé humaine est bien mis en évidence. Les aérosols organiques primaires sont directement émis dans l'atmosphère par plusieurs sources : trafic, industrie, feux de biomasse, etc. Cependant, les aérosols organiques secondaires sont formés, comme déjà indiqué, à partir des COV généralement et notamment les COVO.

L'impact des COVO et des AOS est aujourd'hui difficilement quantifiable, les connaissances relatives à leur composition et à leur évolution restant très parcellaires (GOLDSTEIN, 2007 ; LEGREID *et al.*, 2008 ; LIU *et al.*, 2009). Il apparaît donc indispensable de déterminer l'évolution des composés organiques en atmosphère urbaine afin de caractériser leur implication dans les processus photochimiques tel que la formation d'ozone ou la production d'aérosols.

La région méditerranéenne est une région fermée où les vents stagnants venant de l'Europe de l'Est contribuent au piégeage des polluants. Ces conditions peu dispersives, conjuguées à l'insolation intense sur cette région, sont particulièrement propices à l'accumulation de composés atmosphériques secondaires tels que l'ozone et/ou des AOS. Dans les parties Est et Sud de la Méditerranée, les activités industrielles sont limitées et les émissions sont principalement dues au transport routier. Actuellement, peu de données sont disponibles pour caractériser les émissions à moyen ou à long terme. Une contrainte importante dans l'étude de la pollution atmosphérique dans les pays de cette région est associée au manque de financement et à la faiblesse des ressources techniques.

Peu d'études de qualité de l'air ont été menées au Liban. L'atmosphère de Beyrouth a fait l'objet de quelques campagnes de mesure, principalement focalisées sur les particules en suspension, le NO_2 et le SO_2 (AFIF et al., 2008, AFIF et al., 2009, EL-FADEL et MASSOUD, 2000, EL-FADEL et al., 2004 ; EL-HOUGEIRI et EL-FADEL, 2004). Les résultats ont montré une pollution chronique au NO_2 et aux particules (AFIF et al., 2009 ; KOUYOUMDJIAN et SALIBA, 2006) . Les côtés Nord et Ouest de la ville de Beyrouth sont ouverts sur la mer tandis que le côté Est est entouré par la chaîne de montagne du Mont Liban. La distance entre la côte et la chaîne de montagnes est de quelques kilomètres, créant ainsi une dynamique particulièrement propice au développement d'épisodes de pollution. La qualité de l'air de Beyrouth et de son panache demeure néanmoins très peu documentée.

Le fonctionnement du système atmosphérique peut être résumé de la façon suivante : le cycle diurne débute par la production du radical OH à partir de plusieurs voies dont des réactions de photolyse de composés précurseurs. Le mécanisme d'oxydation des composés organiques volatils – principalement des hydrocarbures (RH) – est initié par l'attaque du radical OH pour conduire à un radical peroxy organique (RO_2). En présence de NO, RO_2 est converti en RO et NO en NO_2 . RO, quant à lui, produira des espèces plus oxydées : un aldéhyde et un radical hydropéroxy. Pour terminer le cycle, HO_2 réagit avec NO pour reformer un radical OH et une molécule de NO_2 . Les deux molécules de NO_2 formées sont rapidement photolysées et, en présence d'oxygène, conduisent à deux molécules d'ozone durant ce cycle diurne. En milieux riches en NOx (zone urbaine) où les concentrations

de ces derniers sont supérieures à quelques ppbv, la régénération du radical OH est quasi-totale. Dans ces conditions, pour chaque tour du cycle, deux molécules d'ozone sont produites. Le radical OH est recyclé et peut réagir avec un nouvel hydrocarbure (RH) pour produire deux nouvelles molécules d'ozone et ainsi de suite. L'évolution du système est ainsi fonction du rapport COV/NO_x, de la spéciation des COV (notamment à travers la distinction entre leurs réactions avec OH), de l'efficacité des sources de radicaux (donc de l'ensoleillement).

Si les NO_x ont fait l'objet d'études antérieures à Beyrouth (AFIF, 2008 ; AFIF *et al.*, 2009), les COV et la spéciation chimique de l'aérosol organique (AO) ne figurent en revanche dans aucune étude. Il importe donc d'identifier les COV/COVO et les AO majoritairement présents et d'évaluer leurs sources primaires et secondaires afin de progresser sur une caractérisation de la qualité de l'air sur Beyrouth. Cette carence de données n'est d'ailleurs pas spécifique au Liban mais concerne l'ensemble du Moyen-Orient. Aucune grande campagne relative aux COV et à l'AO ne s'est en effet focalisée sur cette région jusqu'à présent. Outre les objectifs relatifs à la qualité de l'air sur Beyrouth, le projet permet également de nourrir les questions plus fondamentales mentionnées ci-dessus à propos de l'évolution des composés organiques dans la troposphère. En effet, les masses d'air sur Beyrouth proviennent pour 25 % d'Europe Centrale et l'Europe de l'Est (AFIF *et al.*, 2008). Beyrouth s'avère donc également un site particulièrement intéressant pour étudier l'évolution du carbone organique lors de son transport depuis les zones sources vers les milieux récepteurs.

Le projet « *Emission and Chemistry of Organic Carbon in the East Mediterranean – Beirut* » (ECOCHEM) essayera de répondre à ces questions.

OBJECTIFS DU PROJET ECOCHEM

Sur la base des questions mentionnées ci-dessus, les objectifs prioritaires du projet ECOCHEM sont :

1. L'analyse de la composition et de la variabilité temporelle (été vs hiver) de l'atmosphère urbaine de Beyrouth pour les COV, l'aérosol inorganique et organique.
2. La caractérisation des sources des COV à Beyrouth à partir d'approches bivariées (relation inter-espèces) et de modélisation source-récepteur :

identification des profils de sources et évaluation de leur contribution pour une confrontation aux inventaires des émissions.

3. L'établissement de profils par mesures aux sources et d'un cadastre d'émissions national pour l'intégration dans un système de modélisation de la qualité de l'air.

4. La détermination de l'origine de l'AOS et le rôle des COV dans sa formation à l'échelle urbaine (premières étapes de l'oxydation)

5. La constitution d'une base de données qui sera utilisée pour évaluer la performance d'un système de modélisation de la qualité de l'air à Beyrouth (modèle météorologique, inventaire d'émissions, modèle de chimie-transport).

STRATÉGIE DE TRAVAIL

Pour répondre à ces objectifs, une approche multiaxes englobant la mesure et la modélisation est nécessaire.

Le modèle permettra de mieux comprendre l'interaction entre les polluants et les différents paramètres du modèle. Les modèles de chimie-transport traitent les transformations chimiques des polluants durant leur transport dans l'atmosphère. Ils nécessitent des données d'entrée, qui sont obtenues avec des modèles « émissions » et « météorologie » qui doivent être adaptés au contexte libanais. Le module « émissions » consiste en un travail de terrain et ensuite de modélisation en laboratoire. Cependant, le module « météorologique » consiste en un travail modélisation en laboratoire ; il sera effectué avec le modèle WRF (*Weather Research & Forecast model*).

Afin d'initialiser le modèle de chimie-transport et de le valider, il est impératif de se lancer à partir de données expérimentales. Il est alors nécessaire de mener des campagnes de mesures durant des périodes d'observations intensives hivernale et estivale.

Il est alors en priorité nécessaire de mesurer pour la fraction organique gazeuse : les COV anthropiques et biogéniques d'origines primaires (composés hydrocarbonés) et secondaires (COV oxygénés principalement). Pour la fraction particulaire, les traceurs de pollutions spécifiques seront mesurés pour la fraction inorganique (ions et métaux) ainsi que pour l'organique (AOS dérivés de précurseurs d'origines anthropiques

et naturelles, la partie organique soluble,...) et notamment le carbone organique et le carbone élémentaire. Cette base de données sans précédent au niveau national permettra une évaluation de la spéciation chimique des particules simulées par le système de modélisation de la qualité de l'air.

Les différents partenaires du projet sont : la Faculté des sciences de l'Université Saint-Joseph de Beyrouth, le Laboratoire Inter-universitaire des Systèmes Atmosphériques (Univ. Paris 7 et 12, CNRS UMR 7583), l'École Nationale des Ponts et Chaussées (France), l'École des Mines de Douai (France), Paul SCHERRER Institut (Suisse) et la National Oceanic and Atmospheric Administration (États-Unis).

Date :

Afin de couvrir la variabilité saisonnière des phénomènes étudiés (variabilité des émissions, processus photochimiques), deux campagnes sont programmées :

Campagne estivale : 1 – 15 juillet 2011

Campagne hivernale : 28 janvier – 13 février 2012

Fréquences des mesures :

Pour la phase gazeuse, des mesures en continu avec une résolution temporelle élevée (minute à heure) sont programmées.

Pour les aérosols, la période d'échantillonnage est de 12 heures.

Site de mesure :

Mar Roukoz (campus de l'Université Saint Joseph de Beyrouth)

Longitude 35°33'45,51" N

Latitude 33°51'57,57" E

Le site est localisé sur une colline au Campus des Sciences et Technologies de l'Université Saint-Joseph de Beyrouth à Mar Roukoz. Il possède une altitude de 220 – 230 m au-dessus du niveau de la mer.

Une analyse météorologique a été effectuée sur la période 2003 à 2006 afin d'évaluer l'adéquation de ce choix.

AVANCEMENT DU PROJET

Une des premières étapes réalisées dans ce projet fut le cadastre des émissions. Ce dernier a pour but d'évaluer la variabilité temporelle de la quantité d'une substance polluante émise par un émetteur donné pour une zone géographique et une période de temps donnée. Il a été établi pour le Liban et pour Beyrouth. Il fournit des informations quantitatives pour les études de pollution atmosphérique et sert de données d'entrée pour les modèles de qualité de l'air. Ce cadastre couvre les principales sources anthropiques et biogéniques au niveau national avec une résolution spatiale de 5 km pour le Liban et de 1 km de résolution spatiale pour sa capitale Beyrouth et sa banlieue. Les émetteurs pris en compte dans l'inventaire sont le trafic routier, maritime et aérien, la production d'énergie dans plusieurs secteurs (primaire, centrales électriques, industriel, etc.), les déchets ménagers et hospitaliers ainsi que les émissions biogéniques. Pour la répartition temporelle, des profils horaires ont été fournis pour le trafic routier qui constitue la source la plus importante de pollution tandis que des profils journaliers et mensuels ont été établis pour les autres sources dont la contribution vis-à-vis des émissions est moins importante. Les résultats obtenus pour le CO, NOx, SO₂, COV, NH₃, PM₁₀ et PM_{2.5} pour l'année 2010 ont été 563 Gg, 75 Gg, 62 Gg, 115 Gg, 4 Gg, 12 Gg et 9 Gg, respectivement. Environ 93 % des émissions de CO, 67 % des émissions de COV et 52 % des émissions de NOx ont pour origine les transports routiers, alors que 73 % des émissions de SO₂, 62 % des émissions de PM₁₀ et de 59 % des émissions de PM_{2.5} proviennent des centrales électriques et des sources industrielles. Les résultats répartis dans l'espace et dans le temps ont montré que la ville de Beyrouth et sa banlieues constituent le principal contributeur des émissions de CO, NOx et COV puisqu'elles représentent la plus grande agglomération au Liban, tandis que les régions où sont localisées les centrales électriques et les cimenteries constituent les principaux contributeurs des émissions du SO₂ et de particules.

La seconde phase du projet consiste en deux campagnes de mesures, une estivale et une deuxième hivernale. Comme susmentionné, elles auront lieu en juillet 2011 et février 2012 respectivement. Le traitement ultérieur des données brutes devrait permettre de répondre aux questions posées par ce projet. Les premiers résultats sont attendus pour 2012 mais l'analyse complète est envisagée pour 2014 voire 2015.

RÉFÉRENCES

AFIF C. : « Étude de la chimie troposphérique en milieu urbain : rôle de l'acide nitreux », Thèse de doctorat, Université Paris 12 et Université Saint-Joseph de Beyrouth, 234 pp, 2008.

AFIF C., CHÉLALA C., BORBON A., ABOUD M., ADJIZIAN-GÉRARD J., FARAH W., JAMBERT C., ZAAROUR R., BADARO SALIBA N., PERROS P.E., RIZK T. : *SO₂ in Beirut : air quality implication and effects of local emissions and long range transport*, Air Qual. Atmos. Health, 1, 167- 178, 2008.

AFIF C., DUTOT A., JAMBERT C., ABOUD M., ADJIZIAN-GÉRARD J., FARAH W., PERROS P.E., RIZK T.: *Statistical approach for the characterization of NO₂ concentrations in Beirut*, Air Qual. Atmos. Health, 2, 57-67, 2009.

ATKINSON, R.: Atmospheric chemistry of VOCs and NO_x, Atmos. Envir., 34, 2063–2101, 2000.

EL-FADEL, M. and MASSOUD, M. : *Particulate matter in urban areas: health-based economic assessment*, Sc. Total Environ., 257, 133–146, 2000.

EL-FADEL, M., BOU FAKHERLDEEN, R., MAROUN, R. : *DIESEL engine policy banning vs. PM levels in urban areas: socioeconomic implications*, Environ. Studies Part A, 61, 427–436, 2004.

EL-HOUGEIRI, N. et EL-FADEL, M. : *Correlation of indoor–outdoor air quality in urban areas*. Indoor Air Environ., 13, 421–432, 2004.

GOLDSTEIN A.H. et GALBALLY I.E.: *Known and unexplored organic constituents in the Earth's atmosphere*, Environ. Sc. Tech., 41, 1515-1521, 2007.

KOUYOUMDJIAN, H. et SALIBA, N.A.: *Mass concentration and ion composition of coarse and fine particles in an urban area in Beirut: effect of calcium carbonate on the absorption of nitric and sulfuric acids and the depletion of chloride*, Atmos. Chem. Phys., 6, 1865-1877, 2006.

LEGREID G., FOLINI D., STAEHELIN J., BALZANI LÖÖV J., STEINBACHER M., REIMANN S.: *Measurements of organic trace gases including oxygenated volatile organic compounds at the high alpine site Jungfraujoch (Switzerland): Seasonal variation and source allocations*, J. Geophys. Res., 113, D05307, 2008.

LIU Y., SHAO M., KUSTER W.C., GOLDAN P.D., LI X., LU S., de GOUW J.A.: *Source Identification of Reactive Hydrocarbons and Oxygenated VOCs in the Summertime in Beijing*, Environ. Sci. Technol., 43, 75–81, 2009.

LE TRANSFERT ET LA MOBILITÉ DES MÉTAUX LOURDS DANS LES SOLS LIBANAIS SOUMIS À L'AMENDEMENT DU PHOSPHOGYPSE : CAS DE BSARMA

Lina NAFEH KASSIR Naim OUAINI

URA GREVE (USEK/CNRS/UL), Faculté des Sciences, Université Saint-Esprit de Kaslik

De nos jours, l'amendement des sols par le phosphogypse (composé formé par du sulfate de calcium hydraté) est une application qui devient d'une importance croissante dans l'agriculture pour ses propriétés stabilisantes, afin d'augmenter le niveau du soufre et du phosphore dans le sol et pour diminuer l'érosion du sol. Cependant, cette application peut mener à une contamination du sol, des plantes et des eaux souterraines due à la présence des métaux lourds de concentration variable dans le phosphogypse dépendant de l'origine de la roche phosphate.

Dans ce contexte, un terrain expérimental a été réalisé dans une région appelée Bsarma, située sur le plateau Koura-Nord du Liban et connue par ses activités agricoles (figure 1).

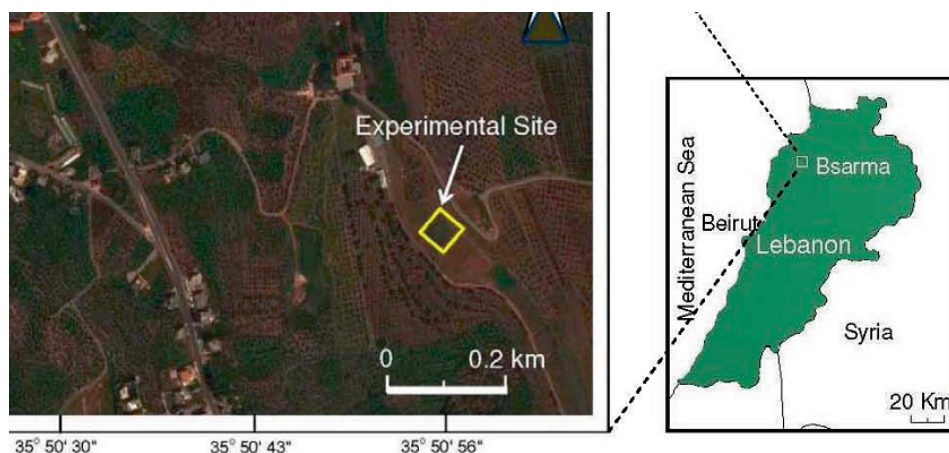


Figure 1 - La localisation géographique de la région Bsarma

Ce terrain expérimental de 70 m² est divisé en 24 parcelles dont 12 ont été épandues par du phosphogypse, 11 parcelles par les fertilisants phosphates, une parcelle étant intacte sans aucun amendement servant

de référence. Le carottage a été réalisé sur la parcelle référence et celles épandues par le phosphogypse dans un espace de temps varié et à une profondeur de 60 cm. La parcelle a été découpée tous les 5 cm jusqu'à une profondeur de 60 cm pour subir ultérieurement les analyses nécessaires.

Pour les analyses pédologiques on a mesuré le pH, la C.E.C et le COT au sein de l'USEK - Liban. Tandis que, pour les analyses minéralogiques et structurales du sol, on a fait des analyses structurales et élémentaires par microscopie (MEB, MET), la diffraction des rayons X (DRX) au sein de la LEM à Nancy. Alors que pour les analyses chimiques, on s'est basé sur les métaux lourds totaux et la spéciation des métaux lourds dans le profil du sol au sein de l'USEK-Liban.

Il existe 5 fractions différentes extraites de l'opération de la spéciation géochimique qui sont citées comme suit :

- F_1 ou la Fraction échangeable on parle des métaux libérés par des processus d'échange ionique.
- F_2 ou la Fraction acido-soluble on parle des métaux mobilisés lors de la diminution du pH.
- F_3 ou la Fraction réductible on parle des métaux relargués lors de la diminution du potentiel redox.
- F_4 ou la Fraction oxydable on parle des métaux libérés lors de l'oxydation des sols.
- F_5 ou la Fraction résiduelle on parle des métaux restants dans les sols.

	PG	Sol	Sols agricoles
Texture	-	argileux	-
pH	6.51	8.21	-
CEC	-	31.06	-
COT	-	3.17	-
Cd (mg/kg)	3.43	0.28	0.2-1
Cu (mg/kg)	6.65	36.02	20-30
Zn (mg/kg)	123.6	102.07	50-70
Pb (mg/kg)	2.46	12.43	10-30

Tableau 1 - La caractérisation physico-chimique du phosphogypse (PG), du sol de Bsarma ainsi que les sols agricoles mondiaux

Le tableau 1 montre que le sol de Bsarma est argileux avec un pH basique. La concentration de Cd et du Pb est dans les limites des sols agricoles mondiaux alors que celle de Cu et Zn est légèrement plus élevée. Pour le phosphogypse dont le pH est légèrement acide, sa concentration en Cu (6,65 mg/kg) et en Pb (2.46 mg/kg) est basse, ce qui est dû à l'origine de la roche phosphate.

Les cinq fractions géochimiques (F1, F2, F3, F4 et F5) sont également analysées dans le phosphogypse et dans le sol de Bsarma (figure 2) montrant que les métaux étudiés (Zn, Cd, Pb, Cu) dans le sol Bsarma sont présents dans la fraction réductible (F3) où les métaux sont associés aux oxydes de fer et de manganèse et dans la fraction résiduelle (F5) où ils sont liés aux aluminosilicates. Tandis que dans le phosphogypse, ils sont plutôt liés à la fraction F1 (fraction échangeable) et F2 (fraction acido-soluble) qui représentent les fractions les plus mobiles.

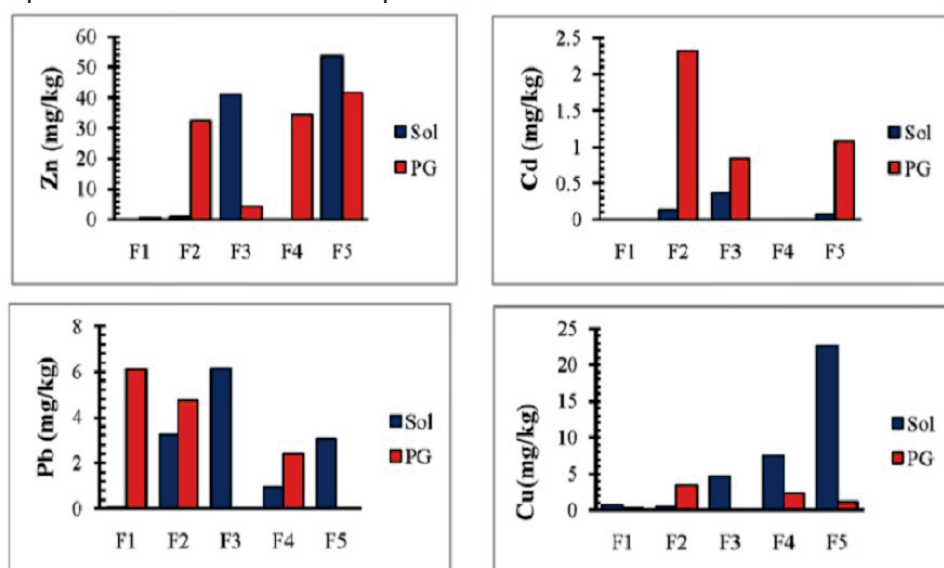


Figure 2 - La concentration des métaux étudiés (Pb, Zn, Cd et Cu) en mg/kg dans les cinq fractions géochimiques (F1, F2, F3, F4 et F5) analysées sur le phosphogypse (PG) et le sol Bsarma

La concentration totale des métaux étudiés dans le profil du sol durant une période de 16 mois et à des espaces de temps variés sur les parcelles R (référence), P1 (après 5 mois d'épandage), P2 (après 12 mois

d'épandage) et P3 (après 16 mois d'épandage) en fonction des précipitations sont représentées dans la figure 3.

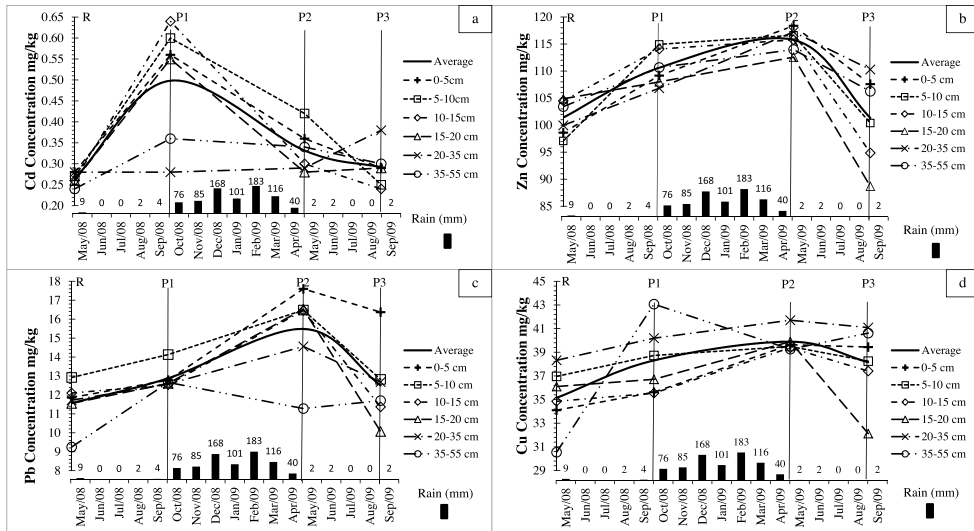


Figure 3 - La concentration totale de Cd (a), Zn (b), Pb (c) et Cu (d) dans le profil du sol sur les parcelles R (référence), P1 (après 5 mois d'épandage), P2 (après 12 mois d'épandage), P3 (après 16 mois d'épandage) en fonction des précipitations

Un enrichissement en métaux lourds est remarqué suite à l'application du phosphogypse (figure 3). Ainsi, le Cd a été observé à une profondeur de 20 cm environ dans le sol après 5 mois d'épandage alors que celui-ci est atteint après 12 mois pour le Pb et le Cu qui ont été accumulés entre 20 et 55 cm dans les couches profondes. De même, le pic d'enrichissement du Zn est de 12 mois bien que la pluie ait causé la migration de ce métal lourd dans les horizons profonds (35-55 cm) du fait que sa concentration a augmenté en profondeur. À la fin de l'étude, on remarque que les profils des métaux étudiés rejoignent relativement les valeurs de la référence.

Pour étudier la mobilité des métaux sélectionnés, les 5 fractions géochimiques (F1, F2, F3, F4 et F5) ont été analysées dans le profil du sol au cours du temps. Les résultats de la spéciation des métaux dans les parcelles (R, P1, P2 et P3) sont représentés dans la figure 4.

Le transfert et la mobilité des métaux lourds dans les sols libanais soumis à l'amendement du phosphogypse

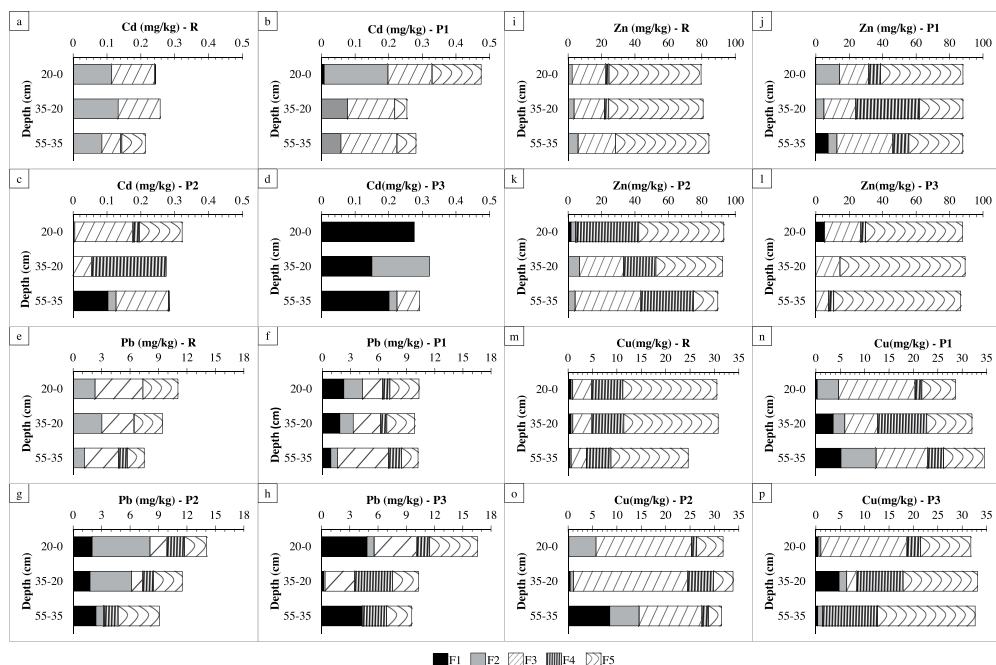


Figure 4 - La distribution des métaux étudiés, Cd, Zn, Pb et Cu dans les 5 fractions géochimiques : F1 (fraction échangeable), F2 (fraction acido-soluble), F3 (fraction réductible), F4 (fraction oxydable), F5 (fraction résiduelle) des parcelles R (référence), P1 (5 mois d'épandage), P2 (12 mois d'épandage) et P3 (16 mois d'épandage)

Les résultats ont montré que le phosphogypse a causé une augmentation de la solubilisation des métaux lourds après 5 mois pour le Cd et 12 mois pour le Pb, Zn, et Cu. À la fin de l'étude, et après 16 mois le Pb, Zn et Cu sont adsorbés par les phases minérales du sol (fraction réductible F3 et fraction résiduelle F5) alors que le Cd est associé à la fraction mobile (fraction échangeable F1) dans le profil du sol (figure 3). L'ordre croissant de la mobilité des métaux lourds est comme suit : Zn > Cd > Pb > Cu.

En outre, les feuilles des plantes cultivées sur les parcelles références et épandues par le phosphogypse ont été analysées. Les plantes sont du type *Cichorium intybus*. Le tableau 2 montre les résultats obtenus de la moyenne des concentrations des métaux étudiés dans les feuilles de *Cichorium intybus* sur les parcelles références et épandues par le phosphogypse. Les feuilles des plantes accumulent une concentration élevée en Cd et en Pb, dépassant la référence et les valeurs normales, causant un risque de transfert pour les chaînes alimentaires.

	Référence	Moyenne (parcelles épandues)	Normal	Tolérable pour le bétail
Cd (mg/kg)	0.5	2	0.1-1	0.5
Cu (mg/kg)	5	7	3-20	300
Zn (mg/kg)	10	30	15-150	1000
Pb (mg/kg)	5	10	2-5	30

Tableau 2 - La moyenne des concentrations de Cd, Cu, Zn et Pb dans la référence et les parcelles épandues par le phosphogypse avec les valeurs normales et celles tolérables pour le bétail

À noter que le pH, la CEC, le COT et les précipitations sont les principaux facteurs qui contrôlent la mobilité des métaux lourds.

À savoir que l'application du PG à long terme peut constituer un danger pour l'environnement et la santé publique. En fait, un contrôle et une limitation des quantités du phosphogypse valorisé comme amendement sur les sols agricoles devraient être établis.

BIODIVERSITÉ

RÉSULTATS PRÉLIMINAIRES DES ÉTUDES MENÉES DANS LE CADRE DU PROJET CANA

*KHALAF G.¹, ABOUD ABI-SAAB M.¹, Bitar G.², FAKHRI M.¹,
ABI GHANEM C.¹, MOUAWAD R.¹ et LELLI S.¹*

¹Conseil national de la recherche scientifique
Centre national des sciences marines

²Université libanaise- Faculté des sciences

INTRODUCTION

Afin de soutenir le Liban dans sa crise socio-économique, suite à l'agression israélienne en 2006, et pour l'aider à faire face aux dégâts environnementaux provoqués par la marée noire due au bombardement des réservoirs de fioul de Jieh, le gouvernement italien a fait don au CNRS libanais du bateau scientifique baptisé CANA, et a financé, en grande partie, un projet de recherche intitulé « CANA : Surveillance permanente de la région côtière libanaise et développement durable ».

Ce projet comprend cinq grands programmes de recherche qui développent des activités de recherche, couvrant l'ensemble des eaux marines côtières et du large, et qui ont débutés, conjointement, en septembre 2009. Différents sites d'échantillonnage et d'étude ont été sélectionnés en fonction de leur intérêt et de leur représentativité écologique.

Nous présenterons dans cette étude les cinq programmes de recherche et les résultats préliminaires obtenus lors des différentes campagnes menées en mer.

PROGRAMMES DE RECHERCHE

Les cinq programmes de recherche et les activités correspondantes sont présentés ci-dessous (CANA-CNRS, 2011).

Bathymétrie côtière

Ce programme consiste à :

- dessiner une carte bathymétrique précise pour les profondeurs inférieures à 200 m.
- dessiner une carte sismologique précise et les failles de tremblement de terre proches et parallèles à la côte
- développer une carte détaillée pour la navigation dans les entrées des principaux ports
- étudier les sources karstiques des eaux douces
- reconnaître les sites archéologiques enfouis.

Les activités relatives à ce programme ont été ajournées au cours de l'été 2012 pour des raisons logistiques.

Hydrobiologie et biodiversité

Ce programme consiste à :

- étudier qualitativement et quantitativement les variations saisonnières, verticales et spatiales des populations phytoplanctoniques
- approfondir l'étude de certains groupes qui n'ont fait l'objet d'aucun travail comme les coccolithophoridés
- étudier les premiers consommateurs en particulier les tintinnides
- prospecter la faune méiobenthique et son adaptation aux différents types de sédiment meuble
- faire l'inventaire du macrobenthos et du necton sur les terrasses à vermetes et dans les fonds à substrats durs
- identifier les espèces exotiques.

Pollution côtière

Ce programme consiste à :

- assister le programme de surveillance de la contamination bactériologique pour déterminer et classer les zones de baignade et les points chauds
- surveiller l'impact de la marée noire de 2006 pour suivre l'état de dissolution, de décomposition et de concentration de différents composés HAP dans les bioindicateurs et dans le sédiment
- doser les éléments traces dans le sédiment et dans les bioindicateurs au niveau des sites industrialisés.

Ressources halieutiques et mammifères marins

Ce programme est effectué en collaboration avec le Ministère de l'agriculture, il consiste à :

- accroître les compétences humaines par des stages de formation
- élaborer une stratégie nationale pour le développement de l'aquaculture
- identifier les espèces de cétacés, leurs aires de distribution et la dynamique de leur population.

Valorisation et sensibilisation

Ce programme consiste à :

- investir les résultats dans un aménagement durable
- proposer des projets de lois pour remédier à la dégradation de l'environnement marin
- faire des campagnes de sensibilisation, de découverte et de reconnaissance du milieu marin.

ACTIVITÉS DE RECHERCHE ET RÉSULTATS

Hydrobiologie

Cette activité a consisté à étudier les variations saisonnières des paramètres physico-chimiques et biologiques des eaux marines de trois régions de la côte libanaise Batroun, Beyrouth et Tyr (tableau 1), selon un transect horizontal. À chaque région 2 sites ont été choisis, un premier côtier à petite profondeur et un autre au large à grande profondeur.

Ces sites ont été échantillonnés saisonnièrement pendant 2 ans de juillet 2009 à août 2011. Les paramètres analysés sont : température, salinité, nitrite, nitrate, orthophosphate et chlorophylle-a.

Pour les sites côtiers, l'échantillonnage a été effectué à 50 cm au-dessous de la surface de l'eau. Au large, des profils verticaux jusqu'à 100 m de profondeur ont été réalisés. La température de l'eau a été mesurée tous les 5 m et les échantillons de l'eau ont été pris aux profondeurs 0, 20, 40, 60, 80 et 100 m.

Les résultats ont montré que durant la saison hivernale, les 2 profils de la température (Fig.1) ont présenté une homéothermie depuis la surface jusqu'à 100 m de profondeur avec une température moyenne de 19°C pour les deux années, et que la thermocline saisonnière commence à apparaître à 30 m de profondeur et se termine à 50 m au printemps, avec une chute de température de 2 °C (de 21 ° à 19 °C) ; alors qu'en été, elle apparaît à 35 m et se termine à 80 m avec une chute de température de 8 °C (29 ° à 21 °C). La thermocline, formée au printemps et développée en été, commence à disparaître en automne (fig. 1).

La salinité dans toute la colonne d'eau n'a pas subi de fortes variations pendant la même saison et même entre les saisons. Elle a fluctué entre une valeur minimale de 38.68 et une valeur maximale de 39.63.

Les éléments nutritifs, nitrites, nitrates et orthophosphates, ont varié arbitrairement dans toute la colonne et pendant les différentes saisons. Les valeurs minimales et maximales des nitrites sont respectivement 0.02 et 0.12 µM/L, celles des nitrates sont 0.14 et 0.97 µM/L et celles des orthophosphates sont de 0.04 et 1.44 µM/L.

La chlorophylle-a, considérée comme élément indicateur de la biomasse phytoplanctonique, a été présente à de faibles concentrations

dans toute la colonne d'eau. Sa valeur a fluctué entre un minimum de 0.04 $\mu\text{g/L}$ et un maximum de 0.20 $\mu\text{g/L}$. De même les phéophytines, éléments dérivés de la chlorophylle ont aussi enregistré de très faibles concentrations qui n'ont pas dépassé les 0.06 $\mu\text{g/L}$.

Populations phytoplanctoniques

L'étude régulière des populations phytoplanctoniques dans les eaux côtières libanaises a été réalisée depuis 1979 au le Centre national des sciences marines. Un résultat récapitulatif des principaux changements de ces populations a été publié (ABBOUD - ABI SAAB, 2010). Une attention particulière a été portée sur les algues toxiques (ABBOUD - ABI SAAB et al, 2006 ; 2008). Les différentes études menées ont concerné essentiellement une zone ou une profondeur bien limitée. Une étude plus complète couvrant l'ensemble des eaux libanaises est devenue une nécessité.

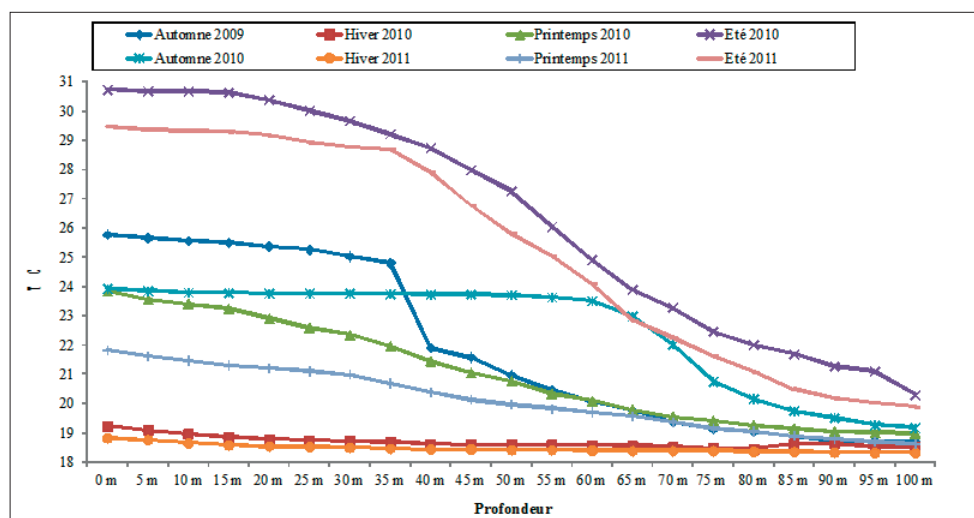


Figure 1 - Variations saisonnières de la moyenne de la température dans les différents sites pendant un cycle de 2 ans (2009-2011)

Dans le présent travail, l'échantillonnage a été réalisé saisonnièrement sur trois transects couvrant chacun 2 stations et différentes profondeurs supra et infrathermoclines, dans trois régions de la côte libanaise et s'étendant de Batroun dans le nord jusqu'à Tyr dans le sud (tableau 1).

En total 8 saisons successives ont été couvertes.

Les résultats préliminaires ont montré :

1. une différence significative des densités de populations, et particulièrement celles du nanoplancton, entre les sites côtiers et ceux du large pendant les différentes saisons,
2. une diminution verticale progressive des densités entre la surface et 80 m,
3. une densité spatiale plus élevée dans la zone de Beyrouth, pour la majorité des prélèvements ; ceci est aussi valable pour les populations des tintinnides (Fig.2),
4. une densité des populations du phytoplancton et des tintinnides plus élevée au printemps et des dinoflagellés plus élevée en automne,
5. une distribution des coccolithophoridés dans toute la colonne d'eau presque toute l'année.

Une analyse complète et approfondie des résultats pourrait ressortir d'autres particularités qui n'ont pas encore été mentionnées dans des travaux antérieures.

Stations	Coordonnées	Nature du fond et profondeur (m)	Niveau d'échantillonnage (m)
Tyr1	N33°15.558' E35°12.093'	Sablonneux, 8	Surface
Tyr2	N33°18.392' E35°06.812'	>300	Surface, 20, 40, 60 et 80
Bey1	N33°52.563' E35°28.538'	Sablonneux, 8	Surface
Bey2	N33°52.536' E35°24.867'	>300	Surface, 20, 40, 60 et 80
Bat1	N33°15.600' E35°39.364'	Sablonneux, 8	Surface
Bat2	N33°14.853' E35°36.067'	>300	Surface, 20, 40, 60 et 80

Tableau 1 - Coordonnées, profondeur et niveau d'échantillonnage des trois sites côtiers Sélectionnés pour l'étude hydrobiologique et phytoplanctonique.

Contamination bactériologique

Afin d'évaluer la qualité de l'eau de mer et de suivre le niveau de pollution, 25 sites de prélèvements sont choisis tout le long de la côte libanaise de manière à représenter sa diversité géomorphologique : plages publiques de baignade, côtes rocheuses, débouchés des rivières, émissaires d'égout, etc.

L'échantillonnage de l'eau est mensuel, les paramètres mesurés sont : température, salinité, pH, nitrite, nitrate, orthophosphate, coliformes fécaux et streptocoques fécaux.

Les résultats de l'analyse de ces paramètres mettent en évidence une pollution organique due aux décharges des eaux usées ménagères. En effet 53 exutoires, dont 16 dans la région de Beyrouth (MoE/ECODIT/ UNDP, 2011), déversent les déchets domestiques liquides dans la mer sans traitement préalable.

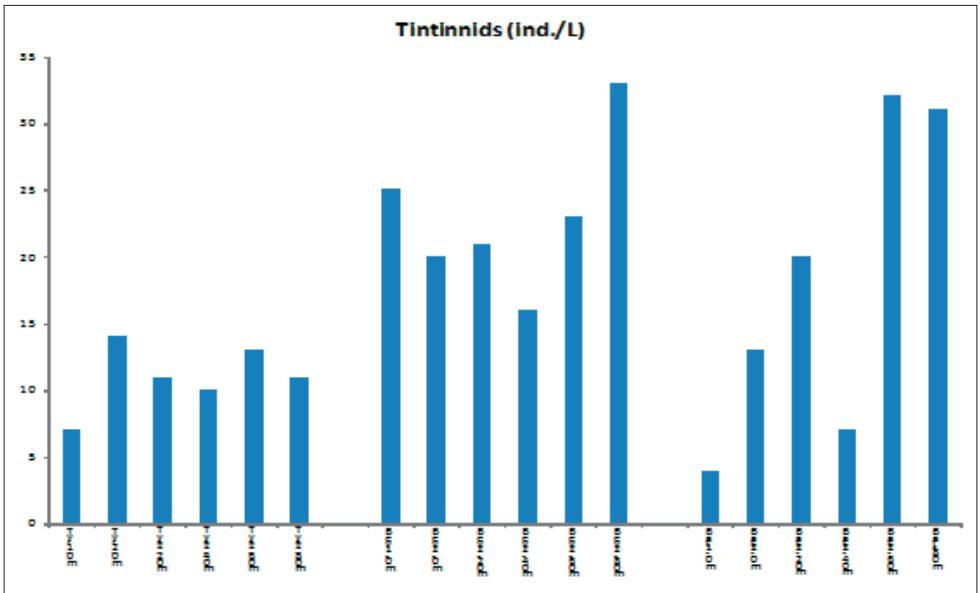


Figure 2 - Variations des populations des tintinnides aux 3 différents transects au printemps 2010.

La concentration des coliformes et des streptocoques fécaux dans les eaux des plages publiques de Tripoli, Antélias, Ramlet el Baida, n'a jamais été inférieure à 10000 UFC/100 ml, alors que la valeur normale ne doit pas être supérieure à 100UFC/100 ml. Certains sites tels Anfeh, Amchit, Byblos, Nakoura ont toujours des concentrations inférieures à la normale puisqu'ils sont épargnés de toute sorte de rejets d'égouts.

Une étude corrélative des différents paramètres analysés (tableau 2) a montré une forte corrélation positive entre les bactéries fécales d'un côté et les nitrites, nitrates et orthophosphates de l'autre. Par contre une corrélation hautement négative existe entre les phosphates d'un côté et le pH de l'autre, dans les eaux de mer près de l'usine d'engrais chimiques à Selaata (FAKHRI et al., 2011), ceci met en évidence le caractère chimique de la pollution par les orthophosphates dans cette région.

Pollution par les métaux traces

L'état de contamination du littoral libanais en éléments traces métalliques est évalué par la mesure de trois métaux plomb Pb, cadmium Cd et vanadium V dans les sédiments marins superficiels et dans les bioindicateurs *Brachidontes variabilis*. Sept sites, représentant la totalité de la côte libanaise ont été étudiés, en allant du Sud au Nord : Itanieh, Jiyeh, Beyrouth, Byblos, Batroun, Iles des Palmiers et Arida.

	T°C	Salinity	NO3	NO2	PO4	FC	FS
T°C	1	0.129	-0.235*	-0.020	-0.002	-0.025*	-0.012
Salinity		1	-0.930***	-0.595***	-0.854***	-0.594***	-0.838***
NO3			1	0.552***	0.817***	0.594***	0.735***
NO2				1			0.535***
PO4					0.659***	0.593***	0.847***
FC					1	0.751***	0.588***
FS						1	1

Tableau 2 - Matrice de corrélations entre les différents paramètres analysés

*P<0.05 ; **P<0.01 ; ***P<0.001

Au niveau de ces sites, trois campagnes d'échantillonnage ont été effectuées durant les années 2010-2011. Les sédiments superficiels ont été recueillis à de faibles profondeurs (2-8 m), uniquement la fraction inférieure à 63 μm a été retenue (GAGNON et FISHER, 1997) et les moules ont été échantillonnées sur des substrats rocheux dans la zone intertidale.

Le calcul de l'indice de géoaccumulation (MULLER, 1979) montre que la qualité des sédiments étudiés varie entre non-pollués et modérément pollués. Des concentrations de Pb et de Cd élevées montrant un haut niveau de contamination sont détectées dans les sédiments au niveau de certains sites comme Beyrouth et Tripoli où la concentration de Pb a atteint 104,4 $\mu\text{g g}^{-1}$ et celle de Cd 0.226 $\mu\text{g g}^{-1}$. En ce qui concerne, la contamination de plomb dans les moules *Brachidontes variabilis*, les valeurs les plus élevées sont obtenues à Batroun (6.32 $\mu\text{g g}^{-1}$) et Beyrouth (6,06 $\mu\text{g g}^{-1}$) en avril 2011.

De fortes concentrations de Cd sont détectées dans les moules de Batroun et de Tripoli (0,95-1,3 $\mu\text{g g}^{-1}$). L'industrie des engrais phosphatés de Selaata qui libère chaque année 130 Kg de Cd particulaire dans la mer est la principale source de Cd à Batroun.

Des valeurs de vanadium sont détectées dans les sédiments d'Arida, 193 $\mu\text{g g}^{-1}$. Cette contamination peut être due à des engrais utilisés en agriculture et chariés par le fleuve El Kabir (MORTVEDT et BEATON, 1995). Cependant, une forte concentration de V est détectée dans les moules à Batroun (4,94 $\mu\text{g g}^{-1}$), montrant encore une fois l'impact de l'usine de Selaata dans l'eau de mer avoisinante.

Biodiversité de la méiofaune

La structure des peuplements méiofaunistiques de cinq sites sablonneux de la côte libanaise, Chekka, Selaata, Antélias, Beyrouth (Ramlet el Baida) et Tyr, a fait l'objet d'une étude quantitative et qualitative. Les prélèvements sont effectués au médiolittoral et à 10 m de l'infralittoral à l'aide de microcarottiers en plexiglas de 10 cm^2 de section et 30 cm de hauteur.

La zone médiolittorale des plages du Liban abrite une méiofaune très variable selon les sites et les saisons. Avec des abondances variant entre 31 et 2283 ind./10 cm^2 , les peuplements sont plus pauvres que ceux de Méditerranée occidentale. Tous prélèvements considérés, les effectifs varient de 240 à 1197 animaux/10 cm^2 (tableau3).

La méiofaune de la zone sableuse infralittorale prospectée entre à 10m de profondeur montre des variations spatiales et temporelles, quantitatives et qualitatives. Tous prélèvements considérés, les effectifs varient de 273 à 808 animaux/10 cm² (tableau 4). Son abondance est donc moins importante que celle des plages médiolittorales. Elle est, de même, plus pauvre que celles de Méditerranée occidentale et de Mer Rouge. Le site pollué de Selaata est le moins peuplé, avec de très fortes variations annuelles (30-785 ind./10cm²), alors que les sites de Beyrouth et celui de Tyr sont les plus riches.

Le groupe des Nématodes prédomine très largement dans les sédiments infralittoraux de tous les sites, pollués (Antélias, Selaata) ou non (Tyr), dépassant 70% du méiobenthos total.

D'après les résultats obtenus on constate une grande pauvreté quantitative des côtes du Liban pour la méiofaune globale par rapport à la Méditerranée occidentale (ALBERTELLI *et al.*, 1999) et pour les nématodes par rapport à la mer Rouge (GRELET, 1984) et à la Méditerranée occidentale.

	0 m				Moyenne
	Chekka	Antelias	Beyrouth	Tyr	
Février 2010	107	146	841	968	516
Mai 2010	774	629	549	693	661
Septembre 2010	903	1380	1712	794	1197
Novembre 2010	252	2283	282	506	831
Avril 2011	462	31	297	1140	483
Juin 2011	371	33	204	351	240
Septembre 2011	802	1483	1806	576	1167

Tableau 3 - Évolution temporelle des densités moyennes (individus/10 cm²) de la méiofaune totale dans la zone médiolittorale des quatre sites prospectés.

	10 m				Moyenne
	Chekka	Antelias	Beyrouth	Tyr	
Février 2010	307	546	783	639	569
Mai 2010	465	819	911	1037	808
Septembre 2010	785	518	1536	224	766
Novembre 2010	69	449	367	207	273
Avril 2011	30	966	1100	973	767
Juin 2011	132	538	716	896	571
Septembre 2011	41	215	1077	323	414

Tableau 4 - Évolution temporelle des densités moyennes (individus/10 cm²) de la méiofaune totale dans la zone infralittorale des quatre sites prospectés.

La seconde constatation est l'extrême diversité méiofaunistique des différents groupes (18 taxons) pour une aire assez limitée puisqu'elle ne concerne que la tranche bathymétrique 0 et 10 m et ne prend en compte qu'un type de milieu référentiel au grand ensemble des sables. La troisième constatation est la variété et la variabilité remarquables des peuplements. Pratiquement, chaque site et chaque station, ont un peuplement particulier défini par leur nombre de taxons, leur abondance relative et un ou quelques groupes dominants. Aucune homogénéité structurelle, qui aurait pu caractériser nettement l'un ou l'autre site, n'apparaît et l'affinité entre les stations est très faible.

Biodiversité du macrobenthos

Quatre principaux sites ont été choisis selon leur localisation géographique et leur proximité ou non des sources de pollution. Chacun de ces sites a été prospecté en différentes périodes :

- Île Ramkine (Tripoli) : site insulaire situé le plus au nord du pays, il fait partie de la réserve marine des Iles des palmiers. Les prospections ont été effectuées en août 2010 et juillet 2011,
- région de Batroun : site prospecté en septembre 2010 et en juillet 2011,

- Beyrouth (Biel– Raoucheh) : visité en septembre et octobre 2010 et en mars, mai et juin 2011,
- zones rocheuses du secteur Tyr-Nakoura : situées entre Tyr et Nakoura complètement au sud du Liban, plusieurs sites de prospections ont été étudiés en différentes périodes de 2010 et 2011.

La prospection systématique des zones étudiées a été effectuée par plongée sous marine tout en faisant des relevés visuels et des prélèvements des échantillons par grattage. La reconnaissance visuelle immédiate des communautés et des principaux organismes les composant a été complétée par des photographies sous-marines.

D'après les différentes prospections dans les quatre sites, 520 espèces ont été recensées (BITAR, 2011). La flore compte 75 espèces dont 73 algues et 2 phanérogames. La faune des invertébrés, représentée par 14 groupes zoologiques (Embranchements), compte 355 espèces. Les principaux groupes sont dans l'ordre d'importance décroissante : Mollusques (99), Polychètes (82), Crustacés (45), Spongiaires (44) et Cnidaires (22). La faune des vertébrés est représentée par 90 espèces dont 78 Poissons, une tortue *Caretta caretta* et 11 espèces d'oiseaux.

En allant des zones « propres » (Île Ramkine, Tyr-Nakoura et Batroun) aux zones polluées de Beyrouth (BITAR, 2011) la richesse spécifique ainsi que le nombre d'habitats diminuent, alors que les espèces qui filtrent les matières en suspension dans l'eau augmentent.

Les trois secteurs (Île Ramkine, Tyr-Nakoura et Batroun) présentent un nombre d'espèces plus élevé que celui du secteur de Beyrouth qui est soumis à l'impact de la pollution urbaine.

La richesse spécifique rencontrée dans la deuxième période (2011) qui coïncide avec la poussée algale printanière est plus importante dans les 4 secteurs étudiés.

La flore et la faune libanaise est d'origine atlanto-méditerranéenne avec la présence de plusieurs espèces exotiques d'origine essentiellement indopacifique.

Le changement global est un fait incontestable, il est à l'origine de la migration et de l'introduction des espèces exotiques.

Une fois dans leurs nouveaux biotopes, les espèces exotiques s'adaptent et ne trouvent pas de prédateurs et par suite elles abondent en

nombre et/ou elles occupent des surfaces très importantes des fonds et prennent les caractères d'espèces envahissantes. D'où elles contribuent à la restructuration des habitats dans la région d'accueil.

Ressources halieutiques et aquaculture

Les eaux marines libanaises, comme celles du bassin levantin de la Méditerranée, sont connues pour leur oligotrophie et leur pauvreté spécifique en poissons et ceci en raison de la présence d'un plateau continental étroit et de l'absence des grandes rivières qui apportent les nutriments à la mer.

De ce fait, la pêche au Liban reste artisanale, elle est représentée par : 2650 embarcations dont la longueur de la majorité ne dépasse pas les 8 m, 44 ports de pêche et 6500 familles de pêcheurs qui vivent de ce secteur et qui sont considérées parmi les plus démunies des différentes classes productives au Liban (CNRS/MoA, 2011).

Le projet CANA, en collaboration avec le ministère de l'agriculture, propose dans l'une de ses activités, de promouvoir le secteur de pêche en apportant un soutien technique aux pêcheurs de façon à améliorer leur production piscicole et leur qualité de vie.

Un programme de stage et de familiarisation avec de nouvelles techniques et méthodologies de pêche a été préparé. Il consiste à utiliser un nouveau type de cages et de filets, facile à fabriquer et non coûteux, qui seront mis à la disposition des pêcheurs et seront mouillés à des profondeurs supérieures à 150-200 m.

Le premier stage théorique a été effectué aux pêcheurs de Nakoura en février 2011, il sera suivi, par deux stages sur le bateau CANA, de 4 jours chacun, en mars et en avril, durant lesquels les pêcheurs vont appliquer les nouvelles techniques. Ces stages seront ensuite généralisés à, presque, tous les ports de pêche au Liban.

Concernant l'aquaculture, le Liban produit environ 8000 tonnes/an de poissons et importe environ 20000 tonnes/an dont la moitié provient de l'aquaculture (CNRS/MoA, 2011).

Une stratégie pour le développement de l'aquaculture a été proposée dans le cadre du projet CANA et ceci en sachant bien que le Liban, à part la ferme d'aquaculture à Abde, qui produit 25 tonnes de crevettes

(*Litopenaeus vannamei*), ne possède aucune structure pour l'aquaculture marine.

Afin de développer cette stratégie et d'apporter un soutien socio-économique aux pêcheurs, qui seront parmi les bénéficiaires du produit final de ce projet, une étude exhaustive a été élaborée (CNRS/GDCIG, 2011) comprenant : l'état actuel du secteur de la pêche, la production, l'aspect socio-économique, le prix de revient, le choix des sites pour poser les cages en mer, l'analyse physico-chimique et biologique des paramètres environnementaux, etc. Un plan d'action national et un appel aux décideurs doivent suivre pour mettre en application les décisions prises.

Cétacés

Plusieurs sorties en mer ont été effectuées à bord du bateau CANA entre septembre 2009 et juin 2011 dans la région côtière, chacune de 2 ou 3 jours. La méthode de transect de ligne a été adoptée, 810 km ont été parcourus durant les différentes missions.

Les résultats ont montré une abondance relativement élevée de l'espèce de dauphin *Tursiops truncatus* (Fig.3) dans la région marine de Beyrouth, en déplacement par individu isolé ou par groupes de 2 ou 4 ou 6 individus de différente taille. Cette abondance relative est de 0.096 ind./km et le taux de contact est de 0.032% (KHALAF et al., 2010). La photo-identification a permis de construire le premier catalogue d'identification des individus.

Une observation d'un individu de phoque moine *Monachus monachus*, disparu depuis 1968, a été signalée en face de Beyrouth. Toujours dans cette même région un cachalot a été observé en avril 2011. Trois individus du dauphin blanc-bleu (*Stenella coeruleoalba*) ont été observés pour la première fois au Liban, à Anfeh au nord de Beyrouth en novembre 2011.

Valorisation et sensibilisation

Un des principaux objectifs du projet CANA c'est de pouvoir investir les résultats obtenus, de l'ensemble des activités, dans un aménagement durable et dans la conservation, aussi intacte que possible,

de l'environnement marin et de ses ressources naturelles.

C'est dans cette optique qu'on a :

- i) œuvré avec les décideurs pour épargner aux eaux côtières toute altération d'origine anthropique,
- ii) proposé des lois et des décrets pour sauvegarder la biodiversité marine et créer des aires maritimes protégées,
- iii) réorganisé le secteur de la pêche pour profiter d'une façon rationnelle des ressources halieutiques et d'une aquaculture promettante.

Concernant la sensibilisation et la prise de conscience, plusieurs campagnes à bord du bateau CANA, ont été organisées pour des acteurs de la mer, des universitaires, des scolaires, des ONG, des municipalités, des médias, durant lesquelles des séances audiovisuelles ont été présentées, des observations en mer (pour les dauphins) ont été faites et des explications ont été données ; tout ceci dans le but de sensibiliser la population aux problèmes majeurs qui causent la dégradation du milieu marin au Liban.



Figure 3 - Trois dauphins de l'espèce Tursiops truncatus rencontrés dans la région de Beyrouth

CONCLUSION

Les études conduites dans le cadre du projet CANA et supportées par le navire océanographique CANA ont permis :

- de définir les variations de la thermocline saisonnière qui commence à apparaître au printemps à 30 m de profondeur et se termine à 50 m, la température chute de 2 °C (de 21 ° à 19 °C) alors qu'en été elle apparaît à 35 m et se termine à 80 m avec une chute de température de 8 °C (29 ° à 21 °C),
- de confirmer l'oligotrophie de nos eaux marines en raison des faibles valeurs des nutriments et de la chlorophylle-a, obtenues dans les différentes analyses,
- d'avoir des résultats préliminaires qui montrent une différence significative des densités de populations phytoplanctoniques entre les stations côtières et celles du large, une diminution verticale progressive des densités entre la surface et 80 m, une densité spatiale plus élevée dans la zone de Beyrouth que celle de Batroun et de Tyr,
- d'identifier, des points chauds côtiers affectés par une pollution organique, d'origine terrestre, qui augmente la charge bactérienne fécale, et des sites près des industries chimiques qui ont des concentrations de certains métaux traces supérieures aux normes admises,
- d'utiliser les organismes méiobenthiques comme des bioindicateurs permettant de comparer entre eux des biotopes à fond meuble afin de définir les différents types de pollution qui contaminent ces substrats,
- de prospecter la zone côtière, en différentes régions et de dresser la liste exhaustive des espèces macrobenthiques et nectoniques. De constater que les zones plus ou moins éloignées des grandes concentrations urbaines (Ile Ramkine, Tyr-Nakoura et Batroun) présentent une richesse spécifique du macrobenthos plus importante que celle de Beyrouth et que le changement climatique global, fait incontestable, est à l'origine de la migration et de l'introduction des espèces exotiques,
- de promouvoir, d'un côté, le secteur de pêche et les ressources halieutiques par l'organisation de stages de formation et d'accroissement des compétences des pêcheurs, et de l'autre, d'établir une stratégie qui mène au développement d'une aquaculture à laquelle les pêcheurs se trouvent complètement impliqués,

- de déterminer les espèces de dauphins qui existent dans les eaux marines libanaises, de calculer leur densité de population et de suivre les zones de leur distribution,
- d'investir les résultats dans un aménagement durable et d'organiser des campagnes de sensibilisation et de reconnaissance de l'environnement marin.

RÉFÉRENCES

ABBOUD-ABI SAAB M., 2010. *Studies and changes of phytoplankton populations on the Lebanese coastal waters: 79-81*. In: CIESM, 2010. *Phytoplankton response to Mediterranean environmental changes. N) 40 in CIESM Workshop Monographs [F. briand Ed.]*; Monaco, 120pp.

ABBOUD-ABI SAAB M., CHEDID S., KASSAB M.T., 2006. *The effect of environmental factors on the development of potentially harmful microalgae in fishing harbors in the Lebanese waters (Eastern Mediterranean): 15-28*. In: A. CHOUIKHI and H.H KOUYOUMJIAN, *Protection of Coastal & Marine Environment, Inter-Islamic Science and Technology Network on Oceanography (INOC)*, 274pp.

ABBOUD-ABI SAAB M., FAKHRI M., SADEK E. and MATAR N., 2008a. *An estimate of the environmental status of Lebanese littoral waters using nutrients and chlorophyll-a as indicators*. *Lebanese Science Journal*, 9(1): 43-60.

ALBERTELLI G., COVAZZI-HARRIAGUE A., DANOVARO R., FABIANO M., FRASCHETTI S. et PUSCEDDU A., 1999. *Differential responses of bacteria, meiofauna and macrofauna in a shelf area (Ligurian Sea, NW Mediterranean): role in food availability*. *Journal Sea Research*, 42: 11-26.

BITAR G., 2011. Rapport final des recherches sur la biodiversité marine benthique effectués dans le cadre de l'Établissement d'un projet de surveillance et d'environnement durable de la côte libanaise : Projet CANA-CNRS.

CNRS/GDCIG, 2011. *Sustainable aquaculture development and support to the fishery sector*. Report, CNRS 2011, 119pp.

CANA-CNRS, 2011., *Ascientific vessel for Lebanon. Strengthening Cooperation between Italy and Lebanon towards the sustainable development of the Marine Environment*. 58pp.

CNRS/MoA, 2011. *Aquaculture and Fishery Development Strategies in Lebanon*. Workshop, CNRS - Beirut; February 17, 2011.

FAKHRI M., KHALAF G., ABOUD-ABI SAAB M., MOUAWAD R., ABI CHAHINE C. et HAMZÉ M., 2011. Résultats préliminaires de l'impact des rejets d'une usine chimique sur l'environnement marin pélagique et benthique de la côte libanaise. *Lebanese Science Journal*, 12 (2) : 25-32.

GRELET Y., 1984. Peuplements méiobenthiques et structure de la nématofaune du golfe d'Aqaba (Jordanie - Mer Rouge). Thèse Université Aix-Marseille II, 140 p.

GAGNON C. et FISHER N.S., 1997. *Bioavailability of sediment bound methylmercury and inorganic mercury to a marine bivalve*. *Environmental Science and Technology*, 31: 993-998.

KHALAF G., FAKHRI M., OHANIAN C. et MINA R., 2010. Activités relatives aux cétacés dans le milieu marin libanais. *INOC- International Conference on Biodiversity of the Aquatic Environment*. Lattakieh, Syrie.

MoE/ECODIT/UNDP, 2011. *State and Trends of the Lebanese Environment 2010*. 355 p.

Mortvedt JJ et Beaton JD., 1995. *Heavy metal and radionuclide contaminants in phosphate fertilizers*. In: Tiessen H, editor. *SCOPE 54: Phosphorus in the global environment--Transfers, cycles and management*. Chichester (GB): John Wiley & Sons.

Muller G., 1979. Schwermetalle in den sedimenten des Rheins-Veränderungen Seit 1971. *Umschau*, 79:778-783.

CARACTÉRISATION DE LA CONTAMINATION DES ÉCOSYSTÈMES PAR LE MERCURE ET SON IMPACT SUR LA SANTÉ

Jalal HALWANI, Gisèle CHAMMAS, Moumen BAROUDI

Laboratoire des Sciences de l'Eau et de l'Environnement
Université Libanaise, Faculté de Santé Publique, Tripoli, Liban

INTRODUCTION

Depuis de nombreuses années, les métaux traces ont fait l'objet de recherches importantes dans les domaines de l'environnement et de l'écotoxicologie (OUDDANE, 2004). Le mercure (Hg) est un élément trace qui a été étudié depuis l'époque où sa responsabilité dans la contamination de la baie de Minamata au sud-ouest du Japon a été mise en évidence. Il est le seul élément chimique dont l'introduction dans le milieu marin par l'activité humaine ait entraîné mort d'hommes.

Les études scientifiques ont montré que les niveaux de mercure dans l'environnement ont augmenté considérablement depuis le début de l'époque industrielle. Dans le monde entier, ce métal est maintenant présent dans divers milieux environnementaux et aliments (en particulier le poisson), à des concentrations qui nuisent aux êtres humains, aux animaux et aux végétaux. Grâce à ses propriétés physico-chimiques, en particulier sa grande volatilité, le mercure circule dans l'ensemble des milieux naturels : air, eau, sol, sédiment. À l'heure actuelle, il existe une exposition générale due à des sources anthropiques, et les pratiques passées qui ont laissé du mercure dans les décharges, les résidus miniers, les sites industriels contaminés, les sols et les sédiments. Même des régions où les rejets de mercure sont minimes, telles que l'Arctique, sont gravement touchées en raison du transport transcontinental et planétaire du mercure.

Dans la nature, le mercure existe sous une grande variété de formes physico-chimiques. Dans un écosystème aquatique, sous l'action de bactéries, le mercure est transformé de ses formes inorganiques à sa forme méthylée la plus toxique, le méthylmercure (CH_3Hg^+). Ce dernier en très faible quantité dans l'eau ou dans les sédiments, se concentre dans les

organismes aquatiques, plus particulièrement dans les poissons, et entre alors rapidement dans la chaîne alimentaire aquatique. Le consommateur peut ainsi être exposé à des doses qui peuvent occasionner dans certains cas extrêmes, une neurotoxicité grave puis la mortalité (ALBERS, 1998).

LA POLLUTION PAR LE MERCURE

Dans la nature, le mercure est présent dans les gisements d'or et d'argent : (sous forme de cinabre HgS) ainsi que dans les émanations volcaniques. Les pluies et la température favorisent sa libération. Mais la principale présence du mercure est due aux activités humaines notamment : agricoles (engrais), médicales (thermomètres, rejets hospitaliers, rejets des cabinets dentaires et de certains laboratoires biologiques, etc.), industrielles (combustion des matières fossiles, cimenteries, etc.), incinérateur des déchets, feux de forêts, rejets des produits pétroliers, etc. Dans l'atmosphère terrestre, le mercure est présent surtout (90 %) sous sa forme élémentaire Hg⁰ ; en quantités beaucoup plus faibles on rencontre le diméthylmercure et des dérivés mono- et diméthylés; le mercure particulaire ne représenterait qu'environ 1 %.

La pollution au mercure est une forte préoccupation environnementale et sanitaire (KHORDAGUI, 1992). En effet, les mers et les océans contiendraient plus de 300 milliards de tonnes de mercure au sein des sédiments, provoquant une contamination des poissons et des crustacés. ceci est dû au déversement de plus de 1500 tonnes par an dans le milieu aquatique. Par ailleurs, on estime que 50 millions de personnes dans le monde sont intoxiquées par le mercure qui s'accumule dans la chair des poissons (BOISCHIO, 2000) comme la truite, le thon, l'espadon ou le requin, et dans les fruits de mer.

CYCLE BIOGÉOCHIMIQUE DU MERCURE

La pollution par le mercure est essentiellement due à la phase gazeuse qui va permettre les différents transferts dans l'espace et avec la matière. Le cycle global du mercure est dominé par l'échange entre le milieu aquatique et atmosphérique (PACYNA, 2000). Dans le milieu

aquatique, le mercure est impliqué dans deux réactions principales, la réduction et la méthylation (OUDDANE, 2008). La première réaction a pour conséquence un recyclage du mercure via l'atmosphère, la seconde favorise sa bioaccumulation dans les réseaux trophiques (RAMOND, 2011). La méthylation du mercure se produit dans des conditions environnementales particulière; en milieu sédimentaire, elle est le fait des bactéries sulfato-réductrices actives (métabolisme microbien). Par le jeu de la diffusion et surtout de la remise en suspension des sédiments de surface, une partie de ce méthylmercure est périodiquement transférée dans la colonne d'eau (figure 1). Le méthylmercure possède la capacité de s'accumuler dans les organismes par bioaccumulation et va se concentrer le long des chaînes alimentaires (bioamplification), en particulier dans la chaîne alimentaire aquatique (poissons et mammifères marins).

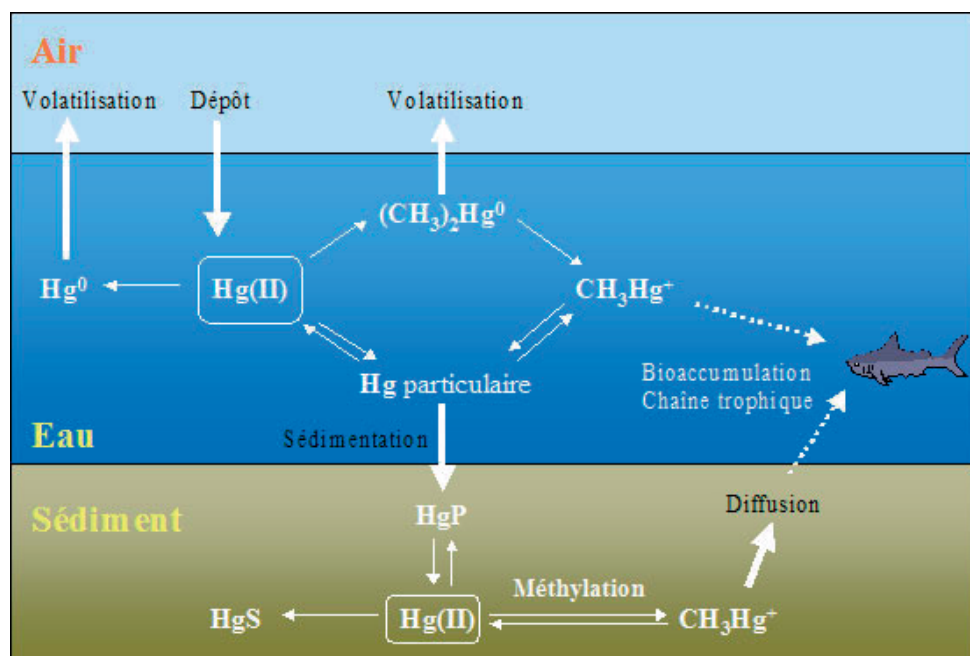


Figure 1 - Cycle biogéochimique du mercure

Le méthylmercure est souvent complexé par des ligands inorganiques ou organiques (CH_3HgOH , CH_3HgCl , CH_3HgSH). Le caractère lipophile de ces molécules facilite leur pénétration dans les cellules. Du fait

de son affinité pour les groupements sulfhydriles de certaines protéines, le méthylmercure incorporé dans la chaîne alimentaire s'y accumule en raison de taux d'excrétion faibles. Le mécanisme de méthylation du mercure reste peu connu (ULLRICH, 2001), de nombreuses recherches ont déjà permis de donner les intervenants et les conditions favorisant ce mécanisme. La méthylation du mercure peut se produire selon deux voies : biotique ou abiotique. Jusqu'à présent la méthylcobalamine ($\text{CH}_3\text{CoB}_{12}$), dérivé de la vitamine B12 est la seule molécule mise en évidence pour méthyler le mercure abiotiquement. Pour la voie biotique, plusieurs études ont identifié les bactéries sulfato-réductrices comme les principales responsables de la méthylation du mercure dans le sédiment. Ces bactéries sont responsables de la réduction des sulfates en sulfures.

SPÉCIATION ET TOXICITÉ DU MERCURE

Le mercure existe dans la nature sous une grande variété de formes physicochimiques aux propriétés diverses qui gouvernent sa distribution dans l'environnement et sa toxicité.

On le trouve sous trois formes principales :

- mercure élémentaires Hg^0 , forme peu soluble et très volatile (la concentration est très faible dans la colonne d'eau ($< \text{ng/l}$)), elle présente une toxicité pulmonaire et neuropsychiatrique ;
- mercure inorganique Hg^{2+} : c'est la forme majoritaire présente à l'état libre ou dans des complexes et des précipités sous la forme de minerai de cinabre (HgS), la forme la plus stable du mercure et la moins toxique ;
- mercure organique: alkylmercure, dialkylmercure ou méthylmercure CH_3Hg^+ , qui constitue la forme la plus toxique.

La toxicité du mercure dépend de la forme sous laquelle il se présente dans le milieu environnemental (SUZUKI, 1991) :

- Dans sa forme métallique ou inorganique, le mercure peut exister sous trois états d'oxydation notés $\text{Hg}(0)$; $\text{Hg}(\text{I})$ sels et complexes peu stables ; $\text{Hg}(\text{II})$ lié au soufre, à l'azote, à l'oxygène et aux halogènes.
- Le mercure élémentaire, liquide, est pratiquement inoffensif : on peut y plonger les mains sans risque.

Le mercure est en fait, selon ses formes, tout à la fois inoffensif et extrêmement dangereux. Sa forme gazeuse est particulièrement nocive, car elle pénètre dans les poumons, le sang et le cerveau. Par ailleurs, il peut se lier dans l'organisme aux molécules constituant la cellule vivante (acides nucléiques, protéines...) modifiant leur structure ou inhibant leurs activités biologiques, il peut aussi passer dans les graisses et y être stocké. Il est reconnu que le mercure peut provoquer des lésions neurologiques graves comme la maladie de Minamata, ou des problèmes rénaux. Les symptômes de la maladie de Minamata sont variés (UCHINO, 1995), les plus courants sont :

- la paresthésie (engourdissement et fourmillements) ;
- l'incoordination progressive des mouvements ;
- la perte de la vue et de l'ouïe ;
- la déchéance intellectuelle.

La forme de pollution de l'hydrosphère devient d'autant plus gênante en raison de l'usage de plus en plus croissant du Hg et de ses dérivés, tous de toxicité élevée. Le mercure, en s'accumulant dans les différents maillons de la chaîne alimentaire, donc chez le poisson, peut causer, chez l'homme qui se nourrit habituellement de ces vertébrés, des empoisonnements comme ceux observés au Japon, à Minamata, en 1956, et à Niigata, en 1965. Les malades étaient atteints de troubles nerveux pouvant aller jusqu'à la mort.

En effet, le méthylmercure nuit à la fois aux êtres humains, aux animaux et aux végétaux. Ce composé, qui traverse facilement la barrière placentaire et la barrière hémato-encéphalique, constitue un neurotoxique, qui peut avoir des effets particulièrement nocifs sur le cerveau en développement (BOFFETTA, 1993). Des études ont montré que la présence de méthylmercure dans le régime alimentaire des femmes enceintes pouvait avoir des effets nocifs subtils, mais persistants, sur le développement des enfants, observés vers le début de la scolarisation. Certaines études suggèrent en outre que de faibles augmentations de l'exposition au méthylmercure pourraient avoir des effets nocifs sur le système cardio-vasculaire. Un nombre important de personnes (et d'animaux) sont actuellement exposés à des niveaux de mercure qui comportent un risque d'apparition de ces effets nocifs, et éventuellement d'autres.

Il faudrait rappeler que les conséquences de la pollution de Minamata étaient catastrophique sur la santé humaine. En effet, la concentration de mercure dans les cheveux des personnes vivant près de la baie de Minamata en 1968 était de 10,6 mg/kg pour les malades, 9,2 mg/kg pour les pêcheurs et 8,1 mg/kg pour l'ensemble des habitants de la baie et la concentration maximale observée a été de 705 mg/kg (TSUBAKI, 1986).

LE DEVENIR DU MERCURE DANS L'ENVIRONNEMENT

Lors du Conseil d'administration du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) en février 2009, 140 pays ont donné leur accord pour le lancement de négociations sur un mécanisme de gestion mondiale du mercure. Un instrument juridique contraignant devra être trouvé d'ici 2013. Cette décision permettra de lever une menace pour la santé de centaines de millions de personnes. L'accord devra être conclu sur le renforcement de la capacité des pays à stocker le mercure et réduire sa provision en provenance de l'extraction primaire du métal lourd. Des projets de sensibilisation aux risques du mercure devront être mis en place. L'utilisation du mercure dans l'exploitation minière artisanale, dans des produits tels que les thermomètres, les lampes ou encore la production de matières plastiques sera réduite. Les industriels doivent réduire leurs rejets de mercure notamment dans la combustion du charbon et la production de chlore-alkali selon le procédé des cellules à mercure.

CONCLUSION

La pollution par le mercure a des effets importants aux niveaux local, régional et mondial. On peut lutter contre ces effets à chacun de ces niveaux par une série de mesures ayant pour objectif de réduire les utilisations, les rejets et les expositions.

La réduction ou l'élimination des rejets anthropiques de mercure exigera la maîtrise des rejets provenant de matières premières et de décharges contaminées par le mercure, ainsi que la diminution ou la suppression de l'utilisation du mercure dans des produits ou des procédés. De nombreuses mesures prises en Europe, en Amérique du Nord et ailleurs ont réussi à faire diminuer les utilisations et les rejets de mercure. Bien que la législation constitue une composante clé de la plupart des initiatives nationales, il existe d'autres approches pour réduire l'utilisation du mercure, telles que la mise au point et l'introduction de solutions de remplacement plus sûres et de technologies plus propres.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ALBERS, J.W., L.R. KALLENBACH, L.J. FINE, G.D. LANGOLF, R.A. WOLFE, P.D. DONAFRIO, A.G. ALESSI, K.A. STOLP-SMITH & M.B. BROMBERG, (1998). Neurological abnormalities associated with remote occupational elemental mercury exposure. *Annals of Neurology*, 24: 651-659.

BOISCHIO, A., & HENSHEL D. (2000). Fish consumption, fish lore, and mercury pollution - Risk communication for the Madeira River people. *Environmental Research*, 84(2), 108-126.

BOFFETTA, P., MERLER, E. & VAINIO, H. (1993). Carcinogenicity of mercury and mercury compounds. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 19: 1-7.

KHORDAGUI, H., & A. DHARI (1991). Mercury in Seafood: A Preliminary Risk Assessment for Kuwaiti Consumers, *Pergamon Press*.

OUDDANE B., ABBASSE G., HALWANI J. & FISCHER J.C. (2004). Determination of metal partitioning in porewater extracted from the Seine River Estuary sediment (France). *Journal of Environmental Monitoring*, 6, 243-253.

OUDDANE B., MIKAC N., CUNDY A.B., QUILLET L. & FISCHER J.C. (2008). A comparative study of mercury distribution and methylation in mudflats from two macrotidal estuaries: the Seine (France) and the Medway (United Kingdom). *Applied Geochemistry*, 23, 4, 618-631.

PACYNA, E., J.M. PACYNA & N. PIRRONE (2000): Atmospheric Mercury Emissions in Europe from Anthropogenic Sources. *Atmospheric Environment* 35, 2987-2996.

PNUE (2009). Rapport sur les activités menées dans le cadre du Partenariat mondial du PNUE sur le mercure, Bangkok, 19-23 octobre 2009.

RAMOND J.B., PETIT F., QUILLET L., OUDDANE B., & BERTHE T(2011). Evidence of methylmercury production and modification of the microbial community structure in estuary sediments contaminated with wastewater treatment plant effluents. *Marine Pollution Bulletin*, 62 (5), 1073-1080.

SUZUKI, T. (1991). Advances in mercury toxicology. *Plenum Press*, New York, p. 459-483.

TSUBAKI, T., & H. TAKAHASHI (1986): Recent Advances in Minamata Disease Studies. Methylmercury Poisoning in Minamata and Niigata, Japan. Tokyo: *Kodansha Ltd.*, 1986.

UCHINO, M., T. OKAJIMA, K. RTO, T. KUMAMOTO, I. MISHIMA & ANDO M. (1995). Neurologic features of chronic Minamata disease (organic mercury poisoning) certified at autopsy. *Internal Medicine Journal* 1995; 34: 744-7.

ULLRICH, S.M., T.W. TANTON ET S.A. ABDRAHITOVA (2001). Mercury in the Aquatic Environment: A Review of Factors affecting Methylation. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 31, No. 3, 241-293.

POLLUANTS ORGANIQUES EN MÉDITERRANÉE. THERMODYNAMIQUES DE TRANSFERT

P.Assaad¹, R. Abou Naccoul¹, G. Bassil¹, A. C. Razzouk², J.Stephan², J.Saab¹

¹ Université Saint-Esprit de kaslik, Faculté des Sciences, Équipe « Thermodynamique, Équilibre de Phases et Analyses Avancées - ThEAA», Dept. Chimie et SVT, B.P. 446 Jounieh, Liban

² Université Libanaise, Faculté des Sciences, Équipe « Analyse des Systèmes Polyphasiques-ASP », Dept. Chimie Biochimie, Fanar, Liban.

Travaux supportés par AUF-PCSI

ORIGINES DES POLLUANTS ORGANIQUES DANS LA MÉDITERRANÉE

La méditerranée est-elle vraiment considérée comme la mer la plus polluée au monde ? Depuis une vingtaine d'années, le bassin méditerranéen agit comme un milieu récepteur de plusieurs déversoirs industriels à effet anthropique non négligeable ; on y rajoute le trafic pétrolier et commercial de plus en plus croissant pour les pays de son pourtour. Plusieurs études scientifiques préviennent actuellement du vrai danger d'extinction d'espèces animales et végétales en méditerranée, conséquence immédiate de l'effet de l'anthropisation dans cet espace. Le présent article permet de synthétiser les idées les plus importantes quant à la quantification des polluants organiques (Hydrocarbures, pesticides,...) et la détermination de leurs propriétés physicochimiques, devenir et écotoxicité.

En effet, l'origine des polluants organiques en Méditerranée est principalement due à « l'activité humaine » qui se déroule dans des conditions normales (exploitation pétrolière *offshore*, Dégazage ou *Tankers Wastes* ...) accidentelles (marée noire : Erika, Prestige,...) ou offensives (15000 tonnes de fioul ont été déversées sur le littoral méditerranéen par le bombardement de la centrale électrique de Jiyeh sud Liban en 2006 – Figure 1).



Figure 1 - Bombardements atteignant le stockage de la centrale électrique de Jiyeh-Liban (30 km de Beyrouth)

Ainsi, pour prédire ou prévoir le comportement de ces polluants en Méditerranée, il serait nécessaire d'étudier leurs propriétés physicochimiques (Phase : exposition ou répartition du polluant dans les différents compartiments « sédiment/organismes/eau saline/air ») qui par combinaison avec leurs devenir rendent ces polluants plus ou moins biodisponibles. Cependant, pour évaluer quantitativement leurs effets sanitaires sur la faune et la flore aquatique, les propriétés écotoxicologiques de ces xénobiotiques biodisponibles (identification de danger, bioconcentration, biomagnification) permettraient de se situer au niveau des effets néfastes.

De ce fait, l'estimation quantitative des risques sanitaires des polluants organiques déversés en Méditerranée exige la détermination des coordonnées de l'équilibre ternaire du triangle de BEA « Biodisponibilité/ Ecotoxicologie/Analyse cartographiée » (figure 2).

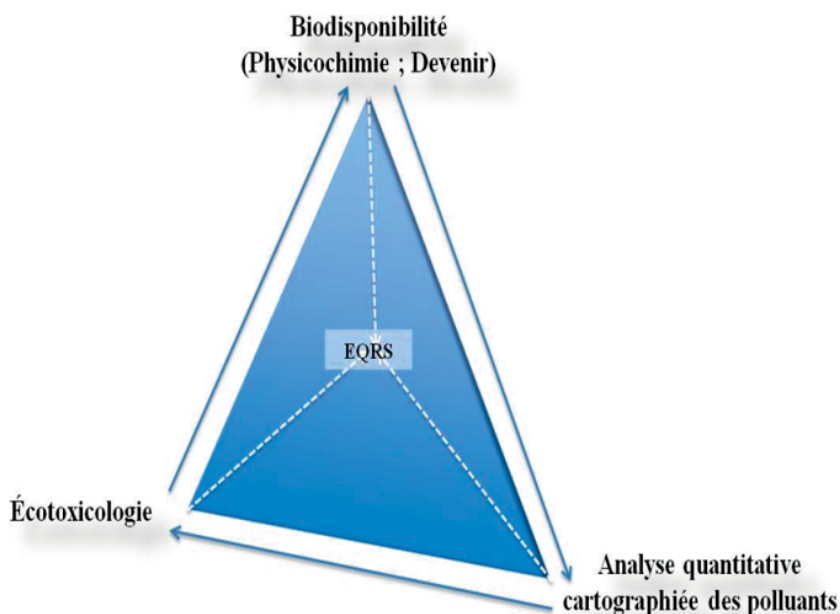


Figure 2 - Triangle de BEA

Pour la suite de cet article, nous présentons nos résultats expérimentaux physicochimiques de quelques molécules organiques rencontrés en Méditerranée, réalisés dans le cadre du projet AUF PCSI. L'objectif principal est d'étudier les propriétés physicochimiques des polluants organiques ainsi que la constitution d'une base de données physicochimiques fiable de plusieurs hydrocarbures ou xénobiotiques « lourds ». Ces données sont souvent inexistantes dans la bibliographie. Elles permettront le calage de toute équation d'état ou de simulation moléculaire dans un contexte de souci constant d'allier la recherche de mesures expérimentales de qualité au développement et la validation des modèles.

PHYSICOCHIMIE DES POLLUANTS ORGANIQUES

En 2006, une équipe Hongroise [1] a suggéré l'équilibre de partage entre compartiment « sédiment/Organisme vivant/Eau /Air » à partir de ces données thermophysiques interdépendantes.

Le 1 juin 2007 (EC 1907/2006), l'Europe a introduit la réglementation REACH *Registration, Evaluation and Autorisation of Chemicals* dont le principal objectif est d'améliorer la connaissance des propriétés physicochimiques des substances actives ou xénobiotiques.

Les paramètres physicochimiques à évaluer sont entre autres : tension de vapeur « P » (estimation des risques d'inhalation), solubilité aqueuse « S » (estimation des concentrations dans les eaux), constante de Henry « K_H » (estimation de la vaporisation des milieux marins, partage air/eau), partage octanol/eau « K_{ow} » (estimation de potentiel de bioaccumulation dans l'organisme vivant) et le coefficient de partition eau-sédiment « K_{oc} » (estimation de coefficient de migration dans le sédiment) [1].

Avec la prise en compte, par la société, des problèmes environnementaux et la mise en œuvre de réglementations (REACH), ces données expérimentales sur les polluants organiques deviennent requises même à l'échelle ultra-trace (fraction molaire en milieu aqueux inférieure à 10^{-3} , tension de vapeur inférieure à 1Pa,...).

Toutefois, l'équilibre de partage entre compartiment reste inconnue et difficile à déterminer expérimentalement pour de nombreux polluants présents à l'échelle de trace ou ultra-trace (très hydrophobes, haut poids moléculaire, ...). Pour la tension de vapeur (cas des polluants peu volatils), cette contrainte est résolue par les travaux publiés en 2009 par l'équipe de Pr. Jacques JOSE de l'Université Claude BERNARD Lyon 1 [2].

Pour les molécules, à la fois volatiles (risque de perte) et à la fois hydrophobe (risque de formation de micelles stabilisées dans la phase aqueuse ou l'eau), le recours à la méthode « dynamique » de saturation est incontournable pour la détermination de la solubilité aqueuse. Contrairement à la technique statique "*Shake-Flask*", la méthode dynamique assure le pouvoir majeur d'étudier la solubilité des composés se trouvant de l'ordre inférieure à 10^{-3} en fraction molaire. En 2006, et dans le cadre aussi d'un projet AUF PCSI, nous avons monté le dispositif dynamique de saturation à la faculté des sciences de l'Université Saint-Esprit de Kaslik [3]. Nous avons validé la procédure expérimentale par l'étude d'un composé préalablement étudié et cité dans la littérature. Notre choix s'est fixé sur l'étude de solubilité de l'éthylbenzène à 313.15 K. La valeur de solubilité aqueuse de littérature a été déterminée expérimentalement par FREIRE *et al.* [4] grâce à la méthode statique. Notre valeur expérimentale ($X^{\text{sol}}=3.40 \cdot 10^{-5}$) est en bonne concordance avec la littérature ($X^{\text{sol}}=3.41 \cdot 10^{-5}$) avec un écart relatif inférieur à 0.2%.

Par la suite, nous avons étudié la solubilité et les grandeurs thermodynamique de dissolution de 1-naphtol N-méthylcarbamate (pesticide de type insecticide) dans l'eau méditerranéenne réelle et simulée, pure et minérale et cela dans un intervalle de température qui couvre le domaine ambiant [0-45°C] (figure 3) [3].

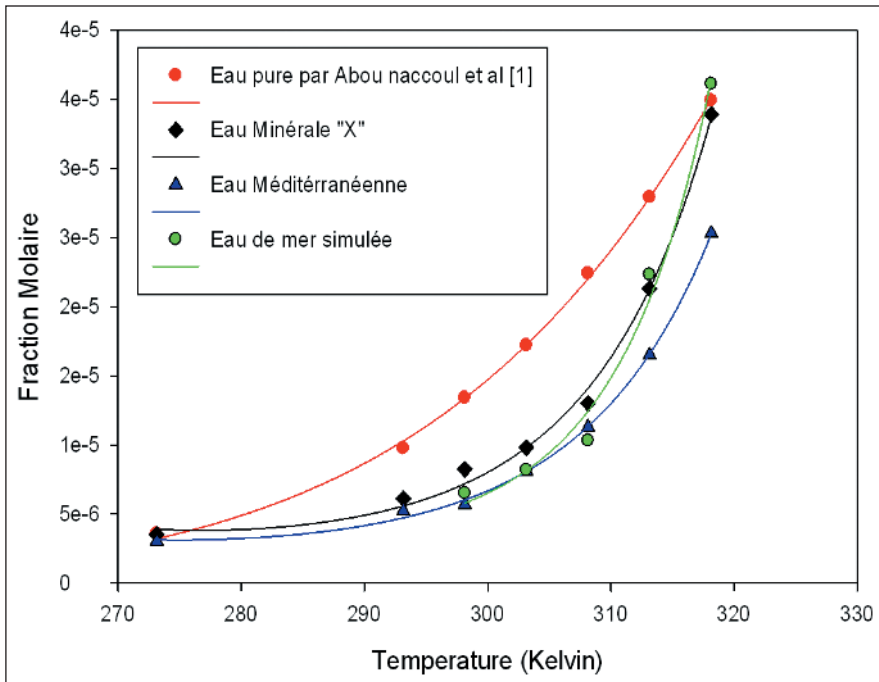


Figure 3 - Solubilité aqueuse du Carbaryl dans l'eau pure, minérale, méditerranéenne et simulée

Nous avons poursuivi notre travail sur la dissolution aqueuse de metalaxyl (fongicide) dans l'eau pure puis dans différentes solution salines (NaCl , KCl , MgCl_2 , CaCl_2) en gradient croissant en concentration et à température 298.15K. L'objectif est d'étudier l'influence de la nature et de la concentration des cations inorganiques sur l'effet de salting-out de metalaxyl à 298.15 K. Cet effet serait utilisé dans l'optimisation de la purification ou l'aménagement des sites pollués accidentellement par ce xénobiotique (figure 4) [5].

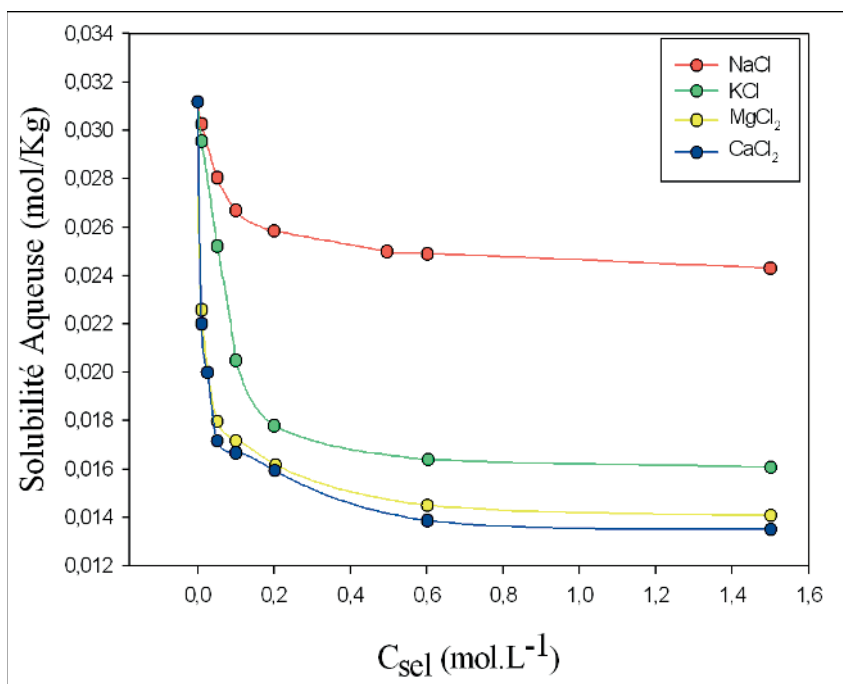


Figure 4 - Variation de la solubilité du metalaxyl (fongicide) en fonction des concentrations de différents sels.

Actuellement, nous sommes en train d'étudier la solubilité aqueuse de l'hydrocarbure polyaromatique, le dibenzoanthracène. Des résultats préliminaires sont obtenus avec une déviation standard relative (RSD) qui ne dépassera pas les 6 %. Nous signalons que le dibenzoanthracène à 25 °C ($X^{sol}=9,21 \text{ E-}12$) est dix millions de fois moins soluble que le carbaryl ($X^{sol}=1,34 \text{ E-}5$) qui est classé par la littérature comme molécule hydrophobe[3]. Actuellement, nous poursuivons nos études sur la détermination de la solubilité, la tension de vapeur, la constante de Henry (volatilité à partir des milieux aqueux) et le Kow pour des molécules appartenant à la famille organoétains.

CONCLUSION

Dans un contexte d'incertitudes sur les expositions ou sur les risques des différents polluants, il serait nécessaire de mettre en œuvre des outils permettant de rendre transparent les processus décisionnels tout en consolidant leurs fondements scientifiques. Avec la mise en œuvre de réglementations (REACH), la caractérisation physicochimique expérimentale du polluant organique devient requise même à l'échelle ultra-trace. L'analyse fine de ces molécules en Méditerranée même à l'échelle Nanomolal constitue un élément essentiel mais non exclusif pour comprendre les mécanismes d'atténuation naturelle qui sont tellement déterminant dans la prévision du devenir de la pollution.

Pour conclure, l'analyse quantitative ponctuelle ou cartographiée de ces polluants déversés en milieu marin n'est certainement pas suffisante pour imprimer leur gravité sanitaire. La connaissance des coordonnées de l'équilibre ternaire BEA « Biodisponibilité/Écotoxicologie/Analyse cartographiée des polluants » reste un point clé dans la détermination du potentiel de danger de ces polluants en Méditerranée.

REMERCIEMENTS

Nous remercions l'AUF BMO de leur support et leur financement.

RÉFÉRENCES

[1] : RICHARD, K. Prediction of Phase Equilibrium Properties from Capillary Column Gas-chromatographic Retention Data 2006. University of Pannonia. Hongrie.

[2] : RAZZOUK, A.C., *et al.* Vapor and Sublimation Pressures of Three Normal Alkanes: C20, C24, and C28. Journal of Chemical Engineering Data, Vol.54, (4), p.1214-1219, 2009.

[3] : SAAB, J., *et al.* Thermodynamics' of dissolution for 1-naphtol Nmethylcarbamate in pure, mineral and Mediterranean Sea Water by Dynamic Saturation Method, Article, Fluids Phase Equilibria, Vol.264, p.156-163, 2008.

[4] : FREIRE, M., *et al.* Solubility of Hexafluorobenzene in aqueous salt solutions from (280 to 340) K. J. Chem. Eng. Data. 2005, 50, p.237-242.

[5] : SAAB, J., *et al.* Salting-out phenomenon and 1-octanol/water partition coefficient of metalaxyl pesticide. Article, Chemosphere, Volume 82, Issue 6, February 2011, Pages 929-934.



IMPACT DE LA POLLUTION SUR LES ESPÈCES ENDÉMIQUES ET SÉDENTAIRES DE POISSON AU LIBAN

Nathalie ESTEPHAN, Wadih SKAFF, Naïm OUAINI, Valérie CAMEL

INTRODUCTION

L'environnement aquatique subit des agressions permanentes suite au développement industriel, agricole et urbain. Diverses approches permettant d'appréhender l'état de la pollution des milieux aquatiques ont été menées depuis la fin des années 70, mais elles ne se souciaient que des décharges de produits toxiques, étant à l'époque l'hypothèse que les océans sont des réceptacles à dilution et/ou à enlèvement infini. Aujourd'hui ce concept n'est plus toléré et on parle donc de capacité d'acceptation d'un milieu d'où les normes ou les valeurs-guides de rejets qui imposent ainsi une connaissance des niveaux et des apports de contaminants chimiques¹.

C'est dans cette optique que se situe notre travail qui consiste à identifier certains contaminants inorganiques dans les poissons répandus le long de la côte libanaise et essayer de relier la source de pollution à la nature des contaminants présents.

La mer, comme tous les autres écosystèmes du pays, a subi beaucoup d'agressions ces derniers temps, y compris sa faune et sa flore, et un état des lieux s'avère donc nécessaire. Notre travail contribuera ainsi à l'établissement de l'état en question.

Dans notre étude nous nous intéressons à deux espèces de poissons endémiques et sédentaires qui se répandent le long de la côte Libanaise : *Siganus rivulatus* et *Diplodus sargus*. La contamination de ces poissons sera étudiée sur trois sites pollués du littoral situés autour de Beyrouth : Dawra, Ouzai et Tabarja.

1 FAO (Organisation des Nations-Unies pour l'alimentation et l'agriculture) sur l'appauvrissement alarmant des stocks de poissons : <http://www.fao.org/newsroom/fr/news/2005/100095/index.html>

MÉTHODOLOGIE

Dans chaque site, selon la disponibilité des espèces étudiées, un prélèvement saisonnier de deux kilos de chacune des deux espèces choisies est effectué. Pour s'assurer de la fiabilité de la matière première, les poissons ont été achetés sur le port auprès des pêcheurs tôt le matin au port juste à leur arrivée, puis, afin de réduire les risques de contamination, les poissons destinés à l'analyse des métaux lourds sont emballés par espèce dans des sacs en polyéthylène.

Les poissons sont ensuite conservés au froid dans un conteneur frigorifique puis emmenés au laboratoire où ils sont lavés avec de l'eau distillée et où la taille et le poids de chaque individu sont notés. Chaque poisson est découpé sur une plaque en polyéthylène, avec un couteau en vanadium. Les morceaux sont introduits dans un hachoir de viande de marque Moulinex à lame en inox et le broyat est placé dans un pilulier en verre et congelé puis lyophilisé.

Après lyophilisation, les échantillons subissent une minéralisation par micro-onde, le protocole étant optimisé par plans d'expériences composites. Après extraction, les métaux lourds sont analysés par spectroscopie d'absorption atomique (SAA) en utilisant un spectromètre de type ZEnit 700. Les analyses du Cadmium (Cd), Chrome (Cr), Cuivre (Cu), Nickel (Ni) et Plomb (Pb) sont effectuées en SAA électrothermique équipée d'un four en graphite avec un système de correction par effet Zeeman, alors que l'analyse du Zinc (Zn) est réalisée en mode flamme.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Analyse du Cadmium

Les résultats obtenus suite à l'analyse du Cd (figure 1) montrent que les teneurs les plus faibles sont observés chez les *Diplodus sargus* de Dawra et Tabarja durant l'été. Les poissons les plus concentrés en Cd sont les *Siganus rivulatus* provenant d'Ouzai pendant le printemps et l'été. Les teneurs élevées en Cd dans le site d'Ouzai s'expliquent par le fait de la proximité d'une usine de traitement des déchets industriels sur le port

de pêche². Globalement, on constate également que les échantillons de la saison d'automne sont généralement moins chargés en Cd que ceux des autres saisons.

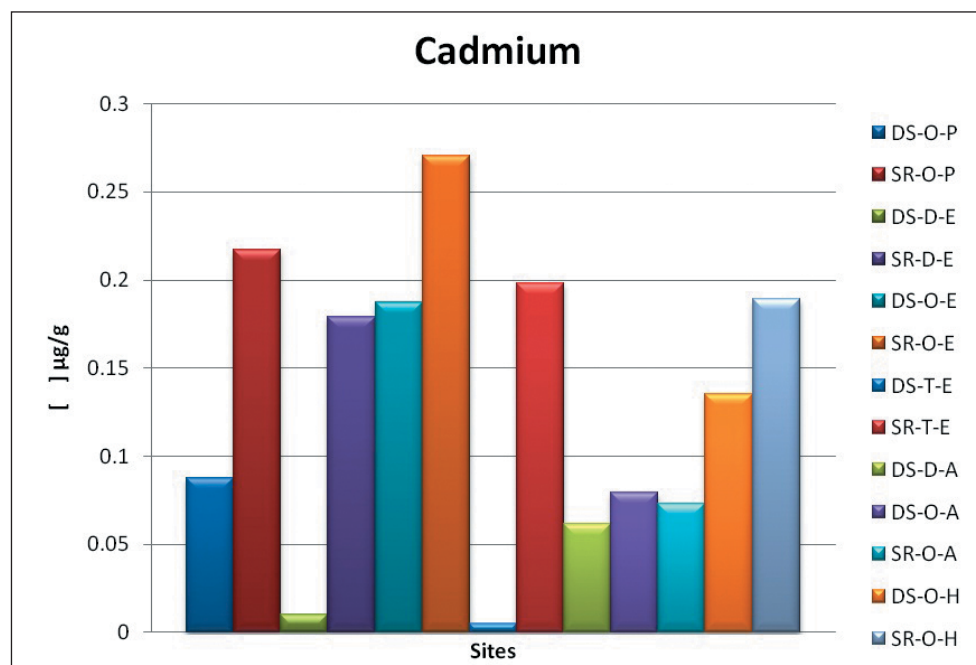


Figure 1 - Diagramme des concentrations du Cd dans les échantillons.
O : Ouzai ; T : Tabarja ; D : Dawra ; DS : *Dipoldus sargus* ; SR : *Siganus rivulatus* ;
E : Été ; P : Printemps ; A : Automne ; H : Hiver.

Analyse du Chrome (Cr)

Les teneurs les plus faibles en Cr sont observées chez les *Diplodus sargus* de Dawra échantillonnés en été et en automne, et ceux de Tabarja échantillonnés en été où on observe une absence totale de Cr (figure 2). Les *Siganus rivulatus*, inclus ceux de Tabarja, échantillonnés en été, présentent également une teneur faible en Cr. Les poissons les plus concentrés en Cr

² PEREZ T., SARTORETTO S., SOLTAN D., CAPO S., FOURT M., DUTRIEUX E., VACELET J., HARMELIN J.G., REBOUILLON P., Étude bibliographique sur les bioindicateurs de l'état du milieu marin. Système d'évaluation de la qualité des milieux littoraux – Volet biologique. Rapport Agences de l'Eau, 4 fascicules, 2000 : 642 pp.

sont les *Diplodus sargus* provenant d'Ouzai pendant le printemps et l'été, et les *Siganus rivulatus* de l'Ouzai pendant le printemps. En effet, les sources de contamination des eaux par le Cr sont nombreuses, et proviennent des retombées atmosphériques et de rejets industriels sur la côte³.

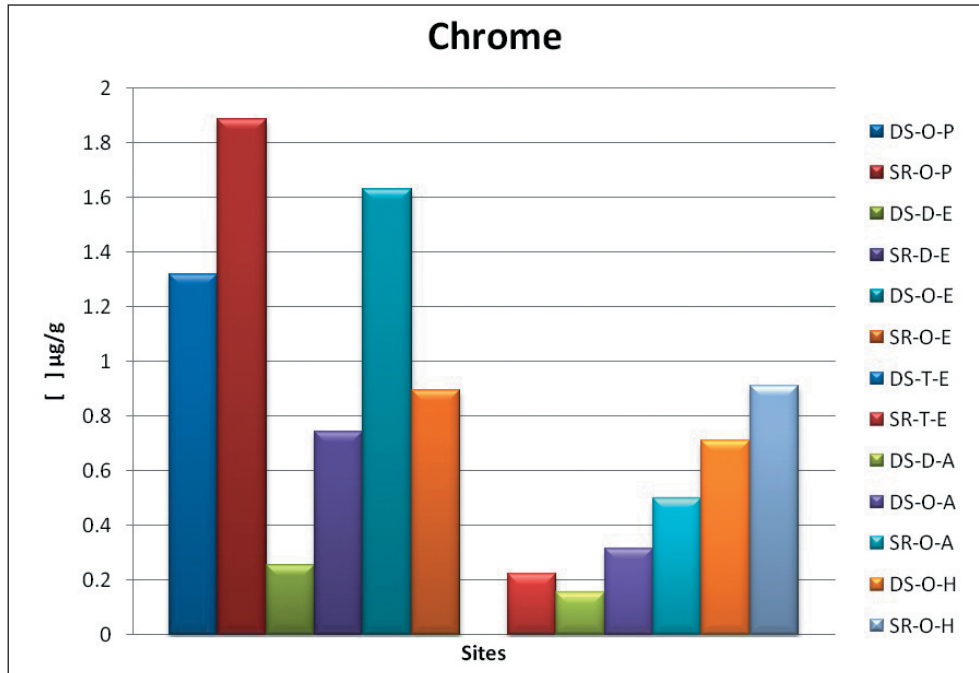


Figure 2 - Diagramme des concentrations en Cr dans les échantillons.

Analyse du Cuivre (Cu)

Les résultats de l'analyse du Cu montrent que les teneurs les plus faibles sont observées chez les *Diplodus sargus* de Dawra échantillonnés en automne, et ceux de Tabarja échantillonnés en été (figure 3). Les poissons les plus concentrés en Cu sont les *Diplodus sargus* provenant d'Ouzai pendant le printemps, et les *Siganus rivulatus* de Dawra pendant l'été. La teneur plus ou moins élevée en Cu dans les échantillons peut être expliquée par la grande utilisation de ce métal par les industries, pour les terres agricoles et les usages domestiques (pesticides, carburants, engrais et tuyauteries, etc.)

³ CHIFFOLEAU, J.F., Le chrome en milieu marin. Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer, 2004: p. 25-37.

très concentrés tout le long de la côte libanaise. Notez que tous nos sites d'échantillonnage se caractérisent par une urbanisation intense⁴.

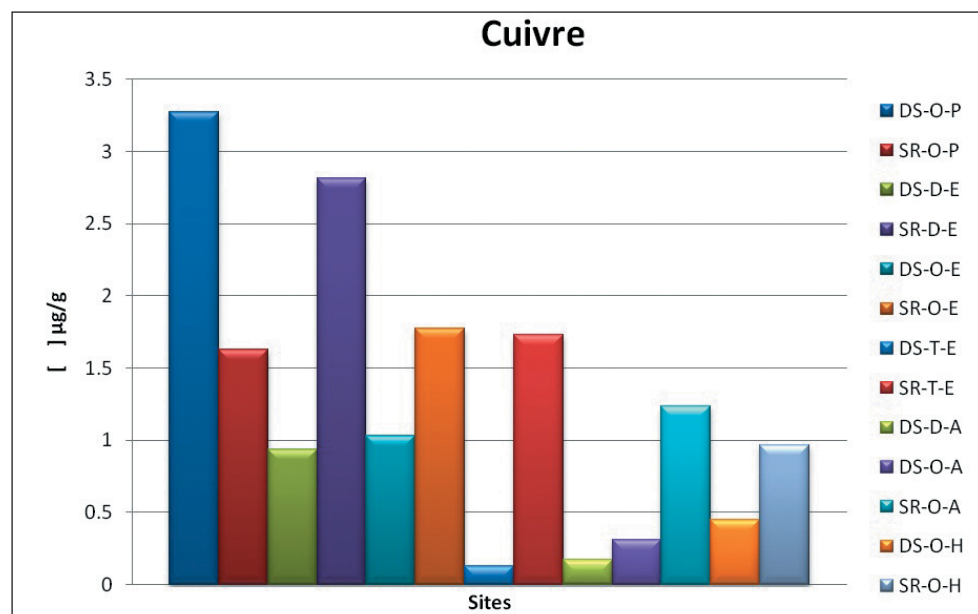


Figure 3 - Diagramme des concentrations en Cu dans les échantillons.

Analyse du Nickel (Ni)

Les analyses ont montré une absence du Ni chez les *Diplodus sargus* de Dawra et Tabarja, échantillonnés en été, et ceux de Dawra et Ouzai échantillonnés en automne (figure 4). Les teneurs les plus élevées en Ni sont observées chez les *Siganus rivulatus* de Dawra échantillonnés en été et ceux d'Ouzai échantillonnés en printemps. Le Ni est utilisé dans plusieurs industries (batteries, production de peinture, engrais et carburants, etc.), ce qui peut expliquer sa grande dispersion dans les zones industrielles et les zones fortement peuplées comme celles du site d'Ouzai⁵.

4 WHO, Trace elements in human nutrition, a report of a WHO Expert Committee. WHO Technical Report Series 532, Genève, 1973: p. 70.

5 MÉRANGER, J.C.S., CHALIFOUX, C., Survey for cadmium, cobalt, chromium, copper, nickel, lead, zinc, calcium and magnesium in Canadian drinking water supplies. J. Assoc.Off.

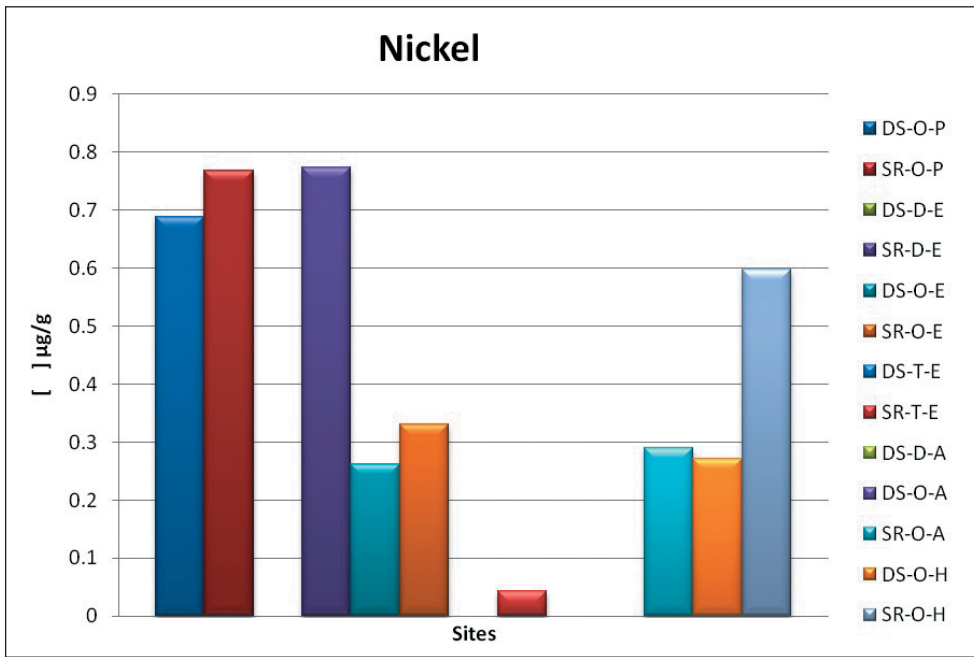


Figure 4 - Diagramme des concentrations en Ni dans les échantillons.

Analyse du Plomb (Pb)

De faibles teneurs en Pb sont observées chez les *Diplodus sargus* d'Ouzai échantillonnés en été et en automne (figure 5). Les teneurs les plus élevées en Pb sont observées chez les *Siganus rivulatus* d'Ouzai échantillonnés en printemps et en été. Parmi les *Diplodus sargus*, ceux échantillonnés du site de Tabarja durant l'été et ceux de Dawra, ayant une masse et une taille moyennes relativement faibles, et échantillonnés durant l'été, sont les plus chargés en Pb.

Parmi les *Siganus rivulatus*, ceux de Tabarja échantillonnés durant l'été, contiennent les teneurs les moins élevées en Pb. La contamination par le Pb peut avoir comme source les industries de production de batteries, pesticides, herbicides, peintures, et engrais⁶.

Analytical Chemistry, 1998(64): p. 44.

6 SOLA, F.I., J. MASONI, A. Lahlou, B., Effets des métaux lourds sur la physiologie des poissons: revue générale. Journal Francais d'hydrologie, 1993(24): p. 9-27.

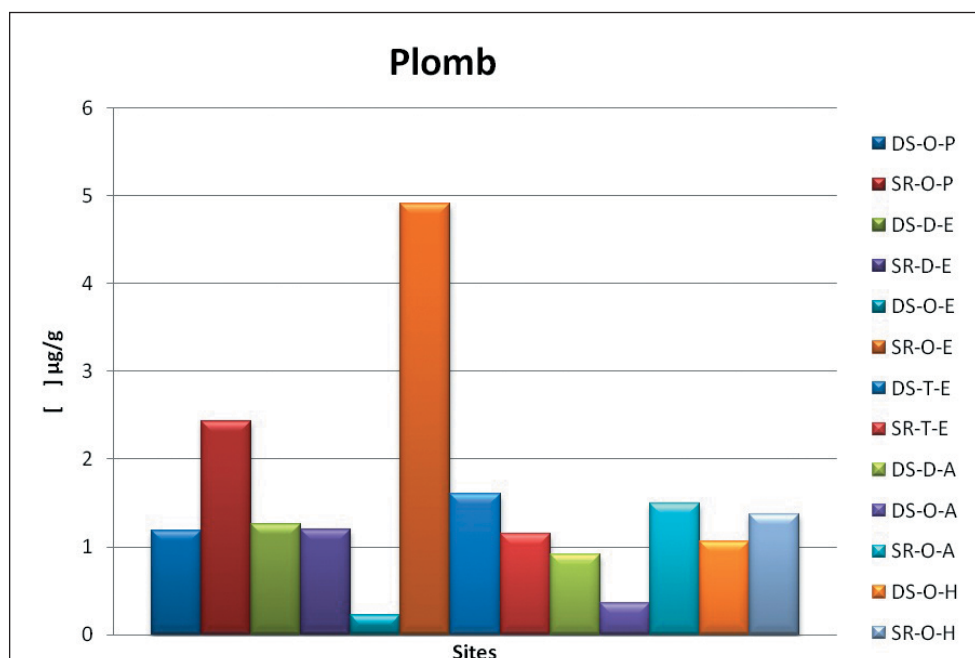


Figure 5 - Diagramme des concentrations en Pb dans les échantillons.

Analyse du zinc (Zn)

En comparant les résultats d'analyses du Zn (figure 6), on constate que les *Diplodus sargus* et les *Siganus rivulatus* du site d'Ouzai pêchés au printemps et en été, et les *Siganus rivulatus* du site de Dawra échantillonnés en été contiennent les teneurs les plus élevées en Zn. Ce métal est présent en quantités comparables dans la totalité des échantillons traités et analysés. En effet, le Zn est présent naturellement dans l'eau de mer mais en concentrations très faibles, de l'ordre de quelques ppb. En plus, le Zn est utilisé dans la production de batteries, dans les engrais, les herbicides et les pesticides d'où une source potentielle de contamination dans l'eau de mer⁷.

⁷ RNO, Surveillance du milieu marin. Travaux du Réseau National d'Observation de la qualité du milieu marin. Ifremer, 2000: p. 341-343.

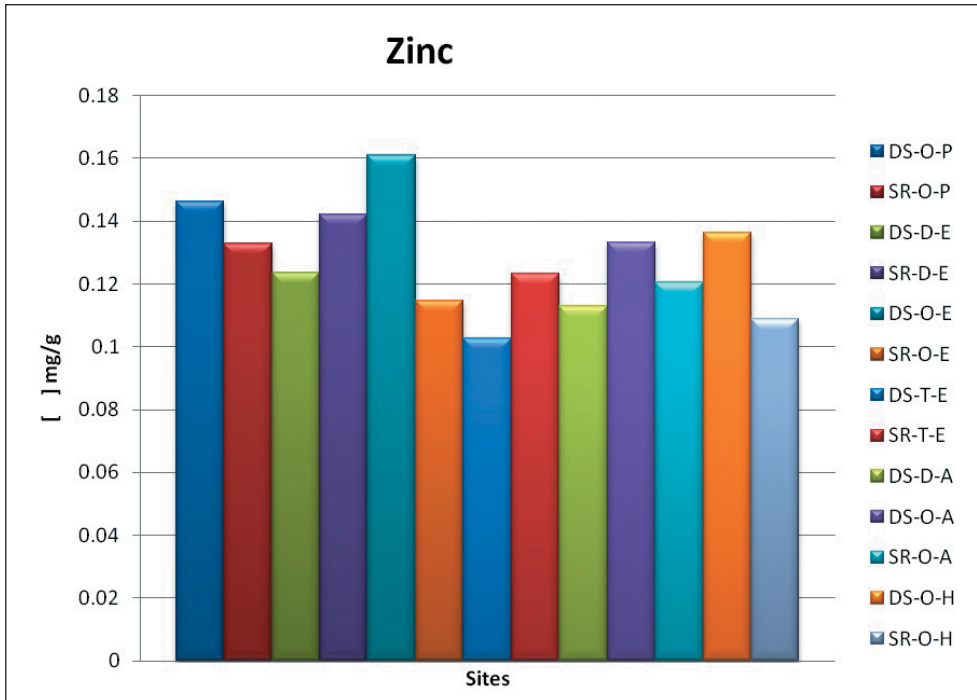


Figure 6 - Diagramme des concentrations en Zn dans les échantillons.

CONCLUSION

L'urbanisation intense, l'activité industrielle, le trafic maritime, etc. sont des facteurs qui amplifient la pollution et menacent la vie des êtres vivants marins et surtout les poissons. Ceci était bien remarquable sur les sites de Dawra et d'Ouzai où l'échantillonnage était difficile, surtout celui de l'espèce *Siganus rivulatus*. Sur le site de Tabarja, la situation est différente, car ce sont surtout les activités agricoles qui contribuent à la pollution marine et la contamination des poissons.

Les résultats ont montré que la majorité des échantillons des sites est chargée en Cu, à cause de la grande utilisation de ce métal dans les industries, les terres agricoles et les usages domestiques. Les échantillons de Tabarja ne sont pas chargés en Ni à cause de l'absence de sources de contamination. Les émissions de Ni proviennent essentiellement d'incinérateurs de déchets (Montagne des ordures à Dawra). La majorité des échantillons est chargée en Pb à cause de son utilisation dans les batteries, les pesticides, les herbicides, les peintures, et les engrais. Par contre, aucune contamination par le Cr, ni par le Zn n'est observée dans tous les sites étudiés.

Afin d'évaluer la pollution saisonnière de chaque site, il serait primordial de procéder à un « *monitoring* » continu à chaque saison pour voir l'évolution de la contamination dans chacune des espèces étudiées. Parallèlement, il faudrait suivre l'évolution des courants marins, et des rejets des effluents industriels, et des engrais ou autres substances agricoles, qui sont continuellement sujets aux changements.

DÉCHETS

GESTION RATIONNALISÉE DES DÉCHETS AU LIBAN : TROIS OBSTACLES AU NIVEAU INSTITUTIONNEL, FINANCIER ET SOCIAL

Nada CHBAT

Responsable du Master 2 Recherche : Sciences de l'Architecture, des Paysages et des Territoires - Université Libanaise

RÉSUMÉ

Au Liban, la résorption des décharges publiques sauvages dépend des politiques publiques adoptées faisant appel ou non à des acteurs privés. Le recours à des sociétés privées ou des Associations Non Gouvernementales pour gérer les décharges peut être une solution efficace ; Toutefois ce recours ne peut être séparé de l'intérêt économique des citoyens ou des acteurs privés et associatifs sur lequel reposent les politiques publiques des déchets. Jusqu'à présent, les schémas directeurs de plans nationaux futurs de traitement des déchets et des décharges, qui ont été proposés par le CDR en 2006, ne sont toujours pas avalisés par le Gouvernement Libanais.

De là, la gestion rationalisée des déchets au Liban se heurte à 3 obstacles :

- institutionnel (répartition des rôles des Ministères, du secteur public, des secteurs privés, des ONG et des habitants),
- financier (les moyens nécessaires pour financer ce secteur)
- social (la localisation des déchets / décharges et la nature contrastée de leurs représentations sociales : de la peur à l'utilité).

INTRODUCTION

Chaque groupement de villes libanaises possède une décharge urbaine située dans son périmètre cadastral. Jusqu'à aujourd'hui, la plupart de ces décharges (700 environ) subsistent et demeurent sans l'ébauche d'une solution précise et adéquate. Le rapport final du schéma d'aménagement du territoire libanais¹, présenté en 2004, a établi la priorité

1. Suite au déclenchement de la guerre en 1975, la planification et l'exécution des projets exigent compétences, stabilité et continuité. Ces trois facteurs étant rarement réunis dans l'administration libanaise, le Président de la République à l'époque Elias SARKIS décida

de la fermeture des décharges car il reconnaît que les fractures géologiques et les réseaux karstiques facilitent la pollution des sources ponctuelles et non ponctuelles en percolant au plus profond de la terre et en faisant ainsi de l'eau souterraine, une eau vulnérable. En outre, ce plan a insisté sur le besoin de protéger le patrimoine libanais, tant naturel que culturel, des défis majeurs dont celui des déchets qui se présente au niveau national et municipal. Jusqu'à présent, les schémas directeurs de plans nationaux futurs de traitement des déchets, qui ont été proposés par le CDR, ne sont toujours pas avalisés par le Gouvernement Libanais afin de trouver des solutions nationales aux problèmes des déchets.

Étant données ces difficultés chroniques, il nous faut savoir comment la population, les acteurs privés et les acteurs engagés dans le processus de consultation et de prise de décision se positionnent vis-à-vis de la gestion des déchets et des décharges. Parviennent-ils à adopter des attitudes constructives en proposant des solutions efficaces ou se contentent-ils de continuer à rejeter les déchets dans les espaces publics sans se préoccuper de leur devenir ?

Parmi les décharges urbaines au Liban, nous exposons, dans ce qui suit, quatre exemples types qui occupent des sites choisis « au hasard » sans aucune étude préalable.

LA DÉCHARGE DE HAMAT

La méthode traditionnellement utilisée pour l'élimination des déchets, dans les petites banlieues des villes et des villages consiste à les entasser tout au long de la voie principale d'accès ou de sortie. Les déchets se déplacent progressivement du bord de la route vers un emplacement de pentes escarpées, près des méandres des routes parcourues. La décharge

de créer en 1976 le Conseil du Développement (devenu par la suite le Conseil pour le Développement et la Reconstruction) en remplacement du Ministère du Plan lequel fut supprimé. Le CDR a été l'outil principal de la reconstruction du pays après la guerre (entre 1975 et 1990). Il a également élaboré le schéma d'aménagement du territoire libanais (SDATL) publié en 2004 et approuvé par le conseil des ministres en 2010. Ce schéma doit constituer l'assise de la politique d'urbanisme et servir en même temps de guide pour l'action de tous ceux qui participent au développement national et à l'utilisation des terres, à commencer par les acteurs publics, administrations et offices autonomes.

de Hamat se trouve aux lisières Est de la zone foncière de Hamat, à près de 100 mètres de l'autoroute de Beyrouth – Tripoli, et à 200 mètres environ du tunnel de Chekka, non loin d'une zone d'entreposage de pierres. Des déchets s'amoncellent et s'éparpillent systématiquement sur les bas-côtés des voies de passage menant à une décharge de laquelle émanent des fumées et des odeurs pestilentielles en direction des hameaux voisins.



Figure 1 - Carte montrant la localisation de Hamat / Batroun et de sa décharge. Carte élaborée avec la collaboration du Conseil du Développement et de la Reconstruction (CDR), CHBAT, N., 2008.



Figure 2 - Photo de la décharge de Hamat à côté de la voie routière principale, MAASRI, R., 2005.

LA DÉCHARGE DE FAKEHA

Dans d'autres régions à proximité d'une vallée ou d'un canal d'eau saisonnière, facilement accessibles à travers des routes peu fréquentées, plusieurs décharges à ciel ouvert se sont développées. Un exemple pertinent est celui de la décharge de Fakeha / Baalbek située à une distance de 125 km de Beyrouth.



Figure 3 - Carte montrant la localisation de Fakeha et de sa décharge. Carte élaborée avec la collaboration du Conseil du Développement et de la Reconstruction (CDR), CHBAT, N., 2008.



Figure 4 - Photo de la décharge de Fakeha située dans la vallée, MAASRI, R., 2005.

LA DÉCHARGE DE RAS EL AIN

Le cas de la décharge de Ras el Ain / Tyr, se trouvant à 83 km de Beyrouth, représente un exemple typique des décharges situées sur des terrains de faible pente et qui constitue un danger grandissant de jour en jour dans la mesure où elle présente une menace pour les eaux du village.

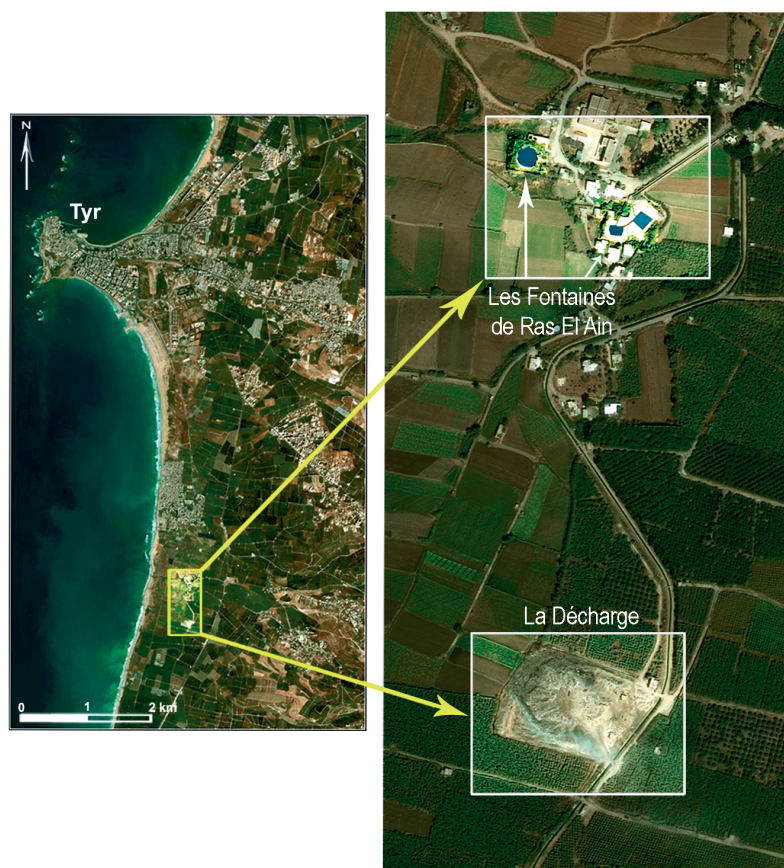


Figure 5 - Photo aérienne montrant la localisation de Ras el Ain par rapport à Tyr. CHBAT, N., Source : DBOUK, H., responsable à la municipalité de Sour, 2009.

Figure 6- Photo aérienne montrant les fontaines de Ras el Ain qui approvisionnent Tyr en eau potable, localisées à 3 km de la décharge de Ras El Ain, CHBAT, N., Source : DBOUK, H., 2009.

Devenue une source de maladies, de dangers et de pollution de l'air, la décharge de Ras El Ain s'est transformée en un promontoire de déchets dégageant des puanteurs de toutes sortes, et affectant amplement les bassins de Ras El Ain (situés à une distance de 3 km de la décharge) considérés comme l'une des plus importantes sources d'eau potable dans la région, puisqu'ils alimentent Tyr et la majeure partie des hameaux du Sud.

LA DÉCHARGE DE SAÏDA

Le choix d'un site de décharge dans les grandes villes côtières (comme Saïda, Beyrouth et Tripoli) n'est pas aisé dans la mesure où la seule terre véritablement disponible pour les municipalités, est celle située le long du rivage. De par son emplacement, la décharge s'étend verticalement et se détache du paysage des villes par son volume. Les exemples des décharges de Tripoli au Nord, de Borj Hammoud dans le Grand Beyrouth et de la ville de Saïda située à une distance de 43 Km de la capitale illustrent parfaitement cette situation.



Figure 7 - Carte montrant la localisation de Sayda et de sa décharge. Carte élaborée avec la collaboration du Conseil du Développement et de la Reconstruction (CDR), CHBAT, N., 2008.



Figure 8 - Photo de la décharge de Saida située près de la mer et sur la côte, CHBAT, N, 2008.

La décharge s'élève à près de 32 m de haut (à partir du niveau de la route) du côté Sud, et s'étend sur une longueur de 315 m du côté du littoral (Municipalité de Saïda, 2004).

Le contenu de la décharge est assez hétérogène, un mélange d'excédents de matériaux d'excavation en provenance de divers chantiers de construction et de sites de démolition dans la zone de Saïda, de déchets domestiques, de marchés de légumes, d'hôpitaux, d'abattoirs et d'industries.

La situation catastrophique au niveau environnemental des décharges urbaines évoquées (qui ne sont que quelques exemples parmi tant d'autres) est un enjeu majeur et pose incontestablement un problème de choix de site. Elle montre à quel point les localisations des décharges urbaines au Liban peuvent être anarchiques, que cela soit sur la côte, à proximité d'un cours d'eau ou à l'intérieur du pays. Mais ce qui semble encore plus remarquable est que la plupart des décharges disséminées sur l'ensemble des territoires communaux (pour ne pas dire toutes) étaient, à l'origine, des lieux à vocation publique.

Cette réalité génère beaucoup d'interrogations dont les réponses ne semblent pas évidentes et dont la plus pertinente semble : Pourquoi ces lieux reconnus par tous comme étant des « espaces publics » se sont dégradés jusqu'à devenir des décharges publiques ?

LES ACTEURS PUBLICS RESPONSABLES DE LA GESTION DES DÉCHETS AU LIBAN

Au Liban, trois institutions sont responsables de la gestion des déchets : Le ministère de l'Intérieur qui s'occupe des municipalités et de leur rôle régional, le ministère de l'Environnement, responsable de la création et du contrôle des normes environnementales ainsi que de la conception d'une stratégie de gestion des déchets solides, et enfin les municipalités en charge du fonctionnement de la gestion des déchets au niveau régional.

Les objectifs de la gestion des déchets et de l'assainissement public touchent plusieurs domaines concernant la santé publique, le confort et le bien-être des habitants, la protection de l'environnement et l'amélioration de la gestion urbaine. Cependant le manque de moyens financiers municipaux et la mauvaise gestion de ces domaines peuvent avoir des

conséquences directes ou indirectes désastreuses aux niveaux sanitaires et économiques, mais également de la qualité du cadre de vie (confort, identité, lieux de mémoire, etc.). Ces services publics ne sont pas assurés de manière satisfaisante et la situation devient de plus en plus inquiétante pour les populations avec la croissance constante des quantités de déchets ménagers solides, corrélative de la croissance urbaine et du changement des modes de production et de consommation (plus de déchets).

La plupart des déchets solides municipaux générés au Liban sont collectés par des transporteurs publics ou privés à l'exception de quelques initiatives citoyennes très rares. La participation du secteur privé dans le cadre de la gestion intégrée des déchets solides est un concept qui est à présent largement débattu avec des degrés différents de compréhension de ses principes de base².

Dans le cas du Grand Beyrouth, la participation du secteur privé était essentielle pour la gestion des déchets : la société *Sukleen* a réussi à faire de Beyrouth « une ville nettoyée ». Possédant un potentiel d'intervention, ses services ont englobé en plus de Beyrouth (1994), le Mont Liban (1998). *Sukleen* a été intégrée à la gestion des déchets solides par un processus d'appel d'offres puis par renouvellement de contrat. En dehors du Grand Beyrouth, les diverses politiques pratiquées dans les villes libanaises montrent l'acuité du problème puisque jusqu'à l'heure actuelle, aucune solution au niveau national n'a encore été adoptée.

On peut donc dire que la participation du secteur privé était primordiale à Beyrouth surtout en raison de l'inefficacité des services publics municipaux. Elle a généré une bonne performance technique, en l'absence d'une politique générale de gestion de déchets.

L'intérêt de l'analyse du déchet réside dans le fait qu'il a souvent une valeur d'indicateur matériel, mais aussi socioculturel, dans la mesure où tous les discours et toutes les pratiques qui lui sont associés se réfèrent à l'imaginaire social et à la mentalité du groupe qui le produit. De même, le déchet en dit long sur ses auteurs et l'espace qu'il parvient à occuper.

2 « Depuis 1994, les organisations du secteur privé appellent à la privatisation des infrastructures et des services publics. L'argument est que la réhabilitation et le fonctionnement des services publics peuvent être délégués au secteur privé par voie contractuelle sous supervision de la tarification et commercialisation des services (MoE, 1998) [...] ». (ABU-JAWDEH, G. *et al.*, 2000, p.34-35)

LES QUALIFICATIONS ET LES REPRÉSENTATIONS ASSOCIÉES AUX DÉCHETS MÉNAGERS

Le déchet, objet initialement dévalorisé, peut constituer un corpus extrêmement intéressant pour une étude qui éclaire le mode de pensée et le système de valeurs d'une société donnée. À qui sait le décrypter, le déchet est, par sa nature, mais aussi par la manière dont il est perçu et appréhendé, un objet très éloquent.

Le géographe Gérard BERTOLINI souligne l'importance du déchet :

« Le déchet s'inscrit dans un jeu de signes, dans le cadre d'une sémiotique. *Quels signifiants et quels enjeux se cachent derrière son apparente insignifiance ? Il renvoie à un ensemble complet- complexe –de valeurs socio- culturelles, et dès lors à une approche relevant de l'anthropologie sociale et culturelle.* » (BERTOLINI, Gérard, 1996, p.83)

Dans la quasi totalité des cas, les caractéristiques d'une décharge se confondent avec celles des déchets ; ce qui est attribué à l'un est attribué à l'autre alors que les angoisses et les peurs sont le tribut des citadins et ruraux qui les côtoient. Leur cadre et leur mode de vie s'en trouvent considérablement détériorés du point de vue visuel (sentiment de propreté et de sécurité notamment), olfactif (les odeurs), du toucher (la poussière), et sonore (les bruits).

Viennent s'ajouter aux dommages paysagers, identitaires et sociaux que subissent les riverains des décharges, les dommages économiques et la dévaluation immobilière et foncière.

Individuelle ou collective, la perception d'un paysage se fait toujours par le biais des cinq sens (vue, ouïe, odorat, toucher, goût). Toutefois, la manière dont l'individu appréhende le paysage qui l'entoure est bien plus complexe et ne se limite pas aux perceptions apportées par les sens. En effet une multitude d'autres éléments matériels et immatériels (notamment diachroniques et synchroniques) interagissent dans cette perception.

AU LIBAN : DES EXPÉRIENCES PARTICIPATIVES FAIBLES DANS LE DOMAINE DE GESTION DES DÉCHETS.

Au Liban, et jusqu'à présent, la participation des citoyens et la conscience collective pour le soutien de la gestion rationnelle des déchets solides sont faibles. Même si, récemment, des projets financés par la banque mondiale, l'Union Européenne ou autres bailleurs de fonds alloués pour le soutien d'opérations de gestion des déchets ont été projetés en visant l'identification des sites d'enterrement des déchets.

La sensibilisation publique à la gestion rationnelle des déchets aura pour but d'éveiller la conscience environnementale sur le fait que la collecte et l'élimination responsable des déchets auront des effets positifs sur la santé publique. Dans la plupart des cas la remise en cause de la présence des décharges urbaines découle du mauvais choix des sites. Ce choix anarchique qui ne tient pas compte des risques sanitaires encourus par les populations, des valeurs des sites choisis, ni de leur capacité à accueillir des décharges a été accepté de la part des habitants par un « gobage forcé ». Ces localisations imposées uniquement du « haut vers le bas » avec une absence complète de consultation locale sont peu acceptés par les habitants et les acteurs locaux.

En outre, ces localisations possèdent une caractéristique commune : celle d'être choisies sur des parcelles de terrain dont la propriété est celle de l'État ou sur des espaces qui servent à des usages publics.

On constate ainsi que la représentation calamiteuse des déchets inhibe la volonté des habitants à s'engager dans des projets novateurs.

Donc, Au Liban, la participation citoyenne aux problèmes des déchets est très médiocre, à l'exception de quelques participations citoyennes réussies. Presque partout au Liban, et surtout dans les zones rurales les déchets sont groupés et jetés dans les fonds de vallées, le lit des rivières et le bord des routes.

CONCLUSION

La participation du secteur privé est importante dans la mesure où ce secteur est libre de toute pression et de retard administratif. La décision est entre les mains d'une personne ou d'un conseil d'administration alors que l'État dans ses décisions doit suivre un cheminement souvent lent.

Mais, pouvons-nous continuer à être seulement tributaire du privé et à se passer de la présence de l'État ? Ne faudrait-il pas renforcer le secteur public dans ses Ministères et renforcer l'administration publique dans ce domaine crucial ?

Les habitants ne se sont jamais associés aux décisions publiques de gestion et de localisation des décharges. Ils n'ont fait que les subir et s'y résigner. Elles étaient imposées d'en haut (*top down*) comme des décisions providentielles.

La solution de ce problème national ne devrait-elle pas tenir compte d'une concertation démocratique entre les différents partenaires politiques et sociaux ?

Cette situation nous suggère qu'un juste équilibre entre les démarches imposées du « haut vers le bas » (c'est-à-dire imposées souvent par l'État), et du « bas vers le haut » (c'est-à-dire suggérées par les citoyens : *bottom up*) serait la base de solutions au niveau national et local.

TABEAU DES FIGURES

<i>Figure 1</i>	<i>Carte montrant la localisation de Hamat / Batroun et de sa décharge. Carte élaborée avec la collaboration du Conseil du Développement et de la Reconstruction (CDR), CHBAT, N., 2008.</i>
<i>Figure 2</i>	<i>Photo de la décharge de Hamat à côté de la voie routière principale, Maasri, R., 2005.</i>
<i>Figure 3</i>	<i>Carte montrant la localisation de Fakeha et de sa décharge. Carte élaborée avec la collaboration du Conseil du Développement et de la Reconstruction (CDR), CHBAT, N., 2008.</i>
<i>Figure 4</i>	<i>Photo de la décharge de Fakeha située dans la vallée, Maasri, R., 2005.</i>
<i>Figure 5</i>	<i>Photo aérienne montrant la localisation de Ras el Ain par rapport à Tyr. Chbat, N., Source : Dbouk, H., responsable à la municipalité de Sour, 2009.</i>
<i>Figure 6</i>	<i>Photo aérienne montrant les fontaines de Ras el Ain qui approvisionnent Tyr en eau potable, localisées à 3 km de la décharge de Ras El Ain, Chbat, N., Source : Dbouk, H., 2009.</i>
<i>Figure 7</i>	<i>Carte montrant la localisation de Sayda et de sa décharge. Carte élaborée avec la collaboration du Conseil du Développement et de la Reconstruction (CDR), CHBAT, N., 2008.</i>
<i>Figure 8</i>	<i>Photo de la décharge de Sayda située en mer et sur la côte, CHBAT, N, 2008.</i>

BIBLIOGRAPHIE

ABU-JAWDEH, G., LARIA, S., BOURAHLA, A., Profil des pays méditerranéens, Liban, enjeux et politiques d'environnement et de développement durable, Sophia Antipolis, PNUE (Programme des Nations Unies pour l'environnement), Plan bleu, centre d'activités régionales, 2000, 50 pages.

AWADA, Fouad, La gestion des services urbains pendant la guerre 1975-1985, Talence, Centre d'études de géographie tropicale, Pratiques urbaines, 1988, 145 pages.

BERTOLINI, Gérard, « Évolution des mentalités vis-à-vis des ordures ménagères », dans Revue de géographie de Lyon, Cnrs, vol 71, n¹, 1996, pages 83-86.

Conseil du développement et de la reconstruction, SDATL schéma directeur d'aménagement du territoire libanais, Beyrouth, impression financement Union Européenne (IPP MSC- CDR) 2005, rapport final, 233 pages.

L'Association libanaise pour la maîtrise de l'énergie et de l'environnement, Bulletin intitulé « Le traitement des déchets solides au Liban », janvier 1999.

MAASRI, R., Mesures techniques et économiques pour la réhabilitation et la clôture des décharges urbaines au Liban, Beyrouth, 2005, 59 pages.

LE RÉSEAU LIBANAIS DE GESTION DES DÉCHETS À RISQUE INFECTIEUX (DASRI)

Dominique SALAMEH, Olivia MAAMARI, Fady MOUJAES

***arcenciel*, UNE ASSOCIATION POUR LE DÉVELOPPEMENT DURABLE**

Association à but non lucratif, *arcenciel* travaille depuis 1985 « avec et pour toute personne en difficulté ». *arcenciel* a été reconnue d'utilité publique en 1995 par le décret présidentiel n°754. Sa mission est de participer au développement durable de la société par le soutien des groupes fragilisés et l'intégration des personnes marginalisées. Ceci l'a amené à développer, au fur et à mesure des besoins, 7 programmes - mobilité et accessibilité, agriculture, emploi, environnement, jeunesse, santé, social - mis en œuvre à travers 16 centres répartis sur l'ensemble du Proche-Orient, et notamment au Liban.

Afin de participer au développement de façon soutenue et durable, tous les programmes et activités d'*arcenciel* sont conçus pour prendre en compte trois dimensions essentielles, nécessaires pour atteindre cet objectif :

La dimension sociale : prise en compte des personnes et des groupes les plus vulnérables lors du développement de toute action.

La dimension environnementale : veiller à la préservation et à la protection des ressources naturelles.

La dimension économique : œuvrer pour assurer un maximum d'indépendance économique, signe de la viabilité de l'action.

arcenciel a adopté une stratégie basée sur trois piliers :

Le travail communautaire : permet de déceler et d'évaluer les besoins concrets des personnes ; il utilise les ressources disponibles dans la communauté locale.

Les institutions de services : réparties sur tout le territoire libanais, elles délivrent des services spécialisés et travaillent avec et pour les bénéficiaires ; l'organisation devient ainsi un acteur efficace et crédible

et peut prétendre à l'impulsion d'un programme public, d'une politique nationale.

Le programme public : garantit le cadre légal et la pérennité des deux autres piliers à travers une définition des normes, une adaptation de la législation et un système de couverture sociale.

Cette approche est reproductible dans chaque projet ou programme entrepris, c'est dans la synergie de ces trois piliers que réside la force d'arcenciel.

LA GESTION DES DASRI : UN ENJEU MAJEUR POUR LA SANTÉ PUBLIQUE ET L'ENVIRONNEMENT

Les Déchets à Risque Infectieux (DASRI) constituent 25 % des déchets produits par les établissements de soins, soit 85 % de leurs déchets à risque. Ils constituent un réservoir de micro-organismes potentiellement dangereux, de nature bactérienne, virale ou parasitaire, susceptibles d'infecter les patients, le personnel hospitalier, mais aussi le grand public, à cause de la propagation à l'extérieur des établissements de soins de micro-organismes parfois résistants dans les déchets éliminés sans traitement. Éliminés sans précaution, les DASRI présentent aussi un danger pour l'environnement, à travers la contamination du sol et de l'eau, et la pollution de l'air par les dioxines et les furannes en cas d'incinération mal contrôlée. La réduction du risque porté par ces déchets nécessite un tri rigoureux à la source, des pratiques d'hygiène sans faille de la part du personnel de soins, un transport et un stockage appropriés à l'intérieur de l'établissement de santé, ainsi qu'un traitement adéquat des DASRI avant leur élimination finale. Jusqu'en 2003, les DASRI générés par les établissements de soin au Liban étaient soit incinérés sans respect des normes internationales, soit éliminés avec les déchets ménagers sans traitement préalable.

RESPONSABILITÉ ET RÔLE DES PRODUCTEURS

La responsabilité de la gestion et du traitement des DASRI incombe aux établissements de soins en vertu du décret libanais 8006 paru en 2002, suivi de son amendement le décret 13389 en 2004, mais aussi en raison de leurs responsabilités sociales et environnementales. En effet, il est du devoir des institutions de soin de contrôler tous les risques professionnels menaçant la santé et la sécurité de leur personnel, et de minimiser l'impact négatif de leurs activités sur la santé publique et l'environnement. De même, une gestion efficace des DASRI permet de répondre aux exigences en matière de qualité de soins, puisqu'elle contribue à la réduction du taux d'incidence des infections nosocomiales. Un chapitre entier est d'ailleurs consacré à la gestion des Déchets d'Activités de Soins (DAS) dans l'accréditation des hôpitaux du Liban, lancée en l'an 2000 par le Ministère de la Santé dans le cadre de la réforme du secteur de la santé. Ce chapitre évoque également l'intérêt de la gestion des DASRI, l'importance du tri, la réduction de la quantité des DASRI à la source et la mise en place de procédures.

ÉLABORATION D'UNE STRATÉGIE POUR LA MISE EN PLACE D'UNE SOLUTION NATIONALE

Préoccupée par l'impact de la gestion inadéquate des DASRI sur la santé et l'environnement, et sollicitée par les hôpitaux eux-mêmes, *arcenciel* se penche en 2003 sur la problématique des DASRI au Liban. Dans le cadre de son programme environnement qui se fixe pour mission la préservation des ressources naturelles, *arcenciel* lance le projet DeHo (déchets hospitaliers), qui a pour objectif de réduire à zéro le risque lié aux déchets d'activités de soins (DAS) au Liban. Grâce à un partenariat avec LIFE (L'Instrument Financier Européen) et l'AECID (Agence Espagnole de Coopération Internationale pour le Développement), *arcenciel* établit une stratégie pour la gestion des DASRI, et l'implémente en mettant en place un réseau national formé de cinq centres de traitement couvrant toutes les régions du Liban. La méthode utilisée est la stérilisation par autoclavage, une technologie optimale du point de vue environnemental, social et économique.

L'autoclavage couplé au broyage : une technique de traitement répondant aux critères du développement durable

Que ce soit du point de vue environnemental, économique ou même social, la stérilisation par autoclavage à une température de 133 °C couplé au broyage constitue actuellement la solution optimale pour le traitement des DASRI. Ce procédé repose sur un équilibre thermodynamique entre la pression et la température. Le principe consiste à obtenir de la vapeur d'eau en faisant bouillir de l'eau dans une enceinte fermée, sous pression, pour augmenter la température d'ébullition de l'eau, et par conséquent la température de la vapeur. Cette technique permet d'éliminer tous les agents et contaminants pathogènes y compris les formes sporulées résistantes, et inactive les agents non conventionnels tels que le prion. Le broyage contribue à la réduction du volume des DASRI jusqu'à 80 %, et permet d'éliminer leur risque coupant-tranchant, tout en les rendant méconnaissables. De même, il augmente l'efficacité de la stérilisation en augmentant la surface d'échange des déchets et donc leur contact avec la vapeur d'eau. Les déchets obtenus sont assimilables aux déchets ménagers. Très efficace, le traitement par autoclavage a, contrairement à l'incinération, un impact environnemental minimal, des coûts d'investissements et opérationnels relativement bas, et il génère beaucoup d'emplois.

La solution semi-centralisée: des coûts plus bas, un meilleur contrôle

Toujours est-il que le traitement des DASRI est un processus délicat, exigeant un personnel formé, une expertise poussée, une maintenance et un contrôle quotidien ; et la gestion du processus est très difficile lorsque c'est le même organisme qui produit, trie, collecte et traite les déchets. Or les établissements de soins ont pour vocation le traitement de malades, et non pas le traitement des DASRI. C'est donc vers cette mission première que leurs efforts devraient converger. À ceci s'ajoute que le traitement semi-centralisé assure une économie d'échelle permettant de réduire les coûts de traitement. Par opposition à la solution centralisée (un centre desservant

toutes les régions), la solution semi centralisée permet de diminuer les distances sur lesquelles les DASRI seront transportés, et par conséquent de minimiser le risque infectieux lié à cette étape de la gestion. Par ailleurs, certains hôpitaux libanais qui disposaient de leur propre autoclave en ont abandonné l'usage en faveur de leur adhésion au réseau.

Un seul prestataire à but non lucratif pour promouvoir la réduction des quantités et pour une réponse efficace dans les situations de panne ou d'urgence

La prise en charge du transport et de la stérilisation par un même organisme facilitent le recours à autoclave « *back up* » en cas de panne de l'une des machines. Cet organisme devait être de préférence à but non lucratif, la formation et la sensibilisation à la minimisation de la production des DASRI étant incompatible avec la production de bénéfices, mais également pour que le prix proposé aux hôpitaux soit le plus bas possible.

LE RÉSEAU NATIONAL DE TRAITEMENT DE DASRI : UNE PRISE EN CHARGE COMPLÈTE DES DASRI, DANS LE RESPECT DES NORMES DE SÉCURITÉ ET DE QUALITÉ

Aujourd'hui, arcenciel assure, à travers un service unique, complet et spécialisé :

- La formation du personnel des établissements de soins : plus de 7000 personnes ont été formées à ce jour à la gestion des déchets d'activités de soins dans l'objectif d'assurer leur sécurité et de réduire, à travers un tri efficace, les quantités produites.
- La collecte et le traitement des DASRI : chaque jour, 6.5 tonnes de DASRI, soit près de 70 % de la quantité générée par les établissements de soins de tout le territoire libanais, sont collectés et stérilisés, selon les normes de qualité en vigueur, dans 5 centres de traitement couvrant tout le territoire libanais : Beyrouth, Mont Liban, Bekaa, Liban Nord, Liban-Sud
- La traçabilité et le suivi des quantités de DASRI

- La gestion de déchets à risque infectieux constitue un processus critique, exigeant une extrême rigueur et une grande vigilance. La maîtrise du risque infectieux, tout au long de la filière délimitation des DASRI, est rendue possible par l'identification et l'analyse des risques inhérents à chaque étape de la gestion, et la mise en place de mesures de prévention.

Maitrise du risque infectieux au niveau des établissements de soins

Le personnel soignant et d'entretien est systématiquement formé et sensibilisé avant l'intégration du réseau par l'institution de soins. Ces sessions ont pour objectif d'informer le personnel hospitalier en contact avec les DAS des risques encourus, tout en lui indiquant les mesures préventives et correctives lui permettant de se protéger, et de limiter la propagation de contaminants provenant de ces déchets. Ces mesures portent sur toutes les étapes de la gestion des DASRI à l'intérieur de l'hôpital : tri, collecte, stockage intermédiaire, transport interne, stockage central. Des sessions de rappel sont aussi proposées. Un appui à l'achat d'équipements (*sharps containers*, *trolleys*, sacs en plastique..), à la mise en place d'une infrastructure pour une gestion sécurisée des DASRI (salle de stockage centrale réfrigérée, détermination du circuit des DASRI, etc.), et à la gestion administrative des DASRI (suivi des quantités, mise en place d'indicateurs etc.) sont aussi offerts aux hôpitaux qui le désirent.

Maitrise du risque infectieux au niveau du transport

Le transport des DASRI se fait dans des véhicules spécialement adaptés, conformes aux normes de sécurité établies par l'arrêté ADR du (Accord européen du transport de marchandise Dangereuses par la Route) du 1er janvier 2007 : leurs murs sont étanches et lisses, sans coins à angles droits, faciles à nettoyer. Ils sont équipés d'un kit de nettoyage, comportant un balai, une pelle, des sacs de poubelles jaunes et noirs, un détergent désinfectant, des masques, des gants, des cônes de signalisation routière, et une boîte de secours premiers soins. Un système retient les bennes aux parois du véhicule, et des canalisations creusées dans le sol retiennent le

liquide infectieux en cas de déversement et empêchent son évacuation à l'extérieur. La cabine du conducteur est séparée du compartiment transportant les DASRI par une cloison rigide, lavable et étanche. Le nettoyage et la désinfection de l'intérieur sont effectués à chaque tournée de collecte de DASRI, et le véhicule est marqué de l'extérieur par une signalisation le rendant reconnaissable. Le chauffeur et son assistant sont sensibilisés aux dangers des DASRI qu'ils transportent ; les équipements de protection personnelle sont mis à leur disposition ; et ils sont habilités à réagir en cas d'accident et dans les situations d'urgence.

Maîtrise du risque infectieux dans le centre de traitement

À ce niveau, le risque infectieux est contrôlé par un aménagement adapté du centre, un respect rigoureux des procédures d'hygiène, et de protection personnelle. La maintenance, l'emploi de l'autoclave et le contrôle de l'efficacité du traitement font aussi l'objet de mesures strictes. Tous les centres de traitement ont déjà fait l'objet d'une étude d'impact environnemental. Comme pour les véhicules de collecte, toutes les surfaces des centres de traitement sont facilement lavables et les coins arrondis. Chaque centre comprend une salle réfrigérée de capacité suffisante réservée au stockage des DASRI avant traitement, et une salle de stockage des déchets stérilisés. Il est muni d'un filtre empêchant les émissions de mauvaises odeurs et un aspirateur permettant de créer une dépression au niveau de la salle.

Au moment d'être recruté, chaque technicien est vacciné contre l'hépatite B, et le tétanos et, reçoit une séance de formation aux précautions à prendre et aux mesures à adopter en cas d'accident. Le port d'équipements de protection (gants épais, masques, uniformes de travail, *safety shoes*...) est obligatoire, et une hygiène impeccable est exigée des techniciens. Chaque année, des tests de sangs et une visite médicale sont effectués pour l'ensemble de l'équipe.

Le stockage des DASRI n'excède pas les 24 h. Une maintenance préventive régulière est effectuée sur les autoclaves. Le centre est nettoyé quotidiennement, quant aux bennes, elles le sont dès que leur contenu est vidé dans l'autoclave. Elles sont ensuite examinées pour détecter d'éventuelles causes de fuites.

Tests de performance

Trois types de tests certifiant l'efficacité du traitement sont effectués :

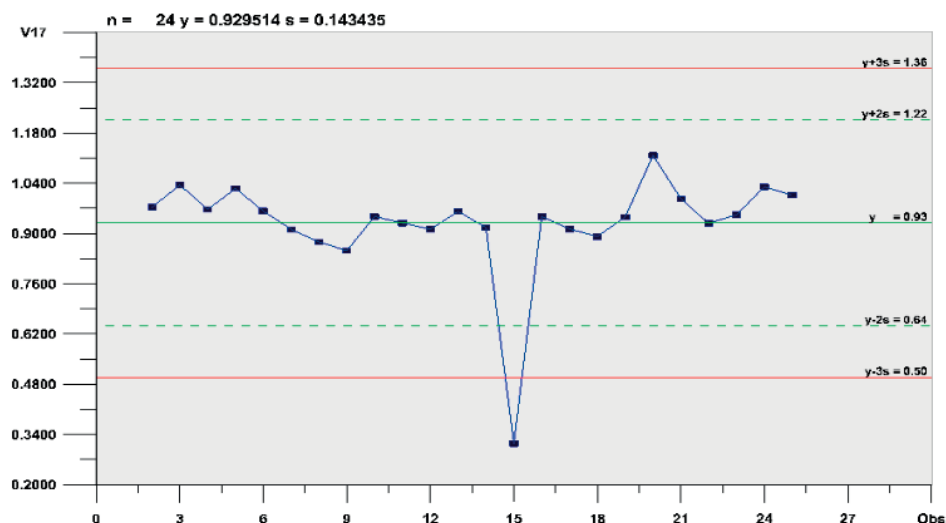
- Les rapports de cycle imprimés par l'autoclave : il s'agit de graphes représentant l'évolution des paramètres de pression et de température mesurés par des baromètres et des thermomètres, en fonction du temps pour chaque cycle. L'analyse de ces graphes permet de vérifier que les pressions et la température ont atteint les valeurs seuils pendant suffisamment de temps pour assurer la stérilisation. Ces rapports sont analysés en vue de détecter d'éventuels dysfonctionnements de la machine.
- Un test chimique, effectué quotidiennement, qui permet de vérifier que le cycle de stérilisation s'est déroulé normalement : il s'agit de bandelettes colorées, collées sur les parois de l'autoclave, et qui changent de teinte lorsque le temps de stérilisation, la pression et la température ont atteint leur valeur seuil.
- Un test biologique, effectué un jour sur deux par un laboratoire indépendant. Ce test consiste à tester l'activité enzymatique dans un échantillon de streptocoques de référence, traité préalablement dans l'autoclave. L'échantillon de référence est mis en présence d'un nutriment, qui agit comme un indicateur coloré. Si, après incubation, un changement de couleur est observé, ceci signifie que les enzymes des streptocoques sont actives et donc que les streptocoques n'ont pas été neutralisés. Inversement, une absence de changement de couleur indique que la stérilisation a été efficace.

Les résultats de ces tests sont comparés afin de s'assurer que le traitement a été efficace, et identifier d'éventuels dérèglements.

Exemple de suivi des quantités d'un hôpital

Ce graphe représente l'évolution des quantités (par lit et par jour) produite par un hôpital du réseau. En cas de variation significative, des mesures correctives sont prises.

Suivi Chronologique hopital Rizk 2009-2010 (T.O=100%)



TRANSFERT D'EXPERTISE

Cette expertise dans la gestion des DASRI est en train d'être transférée vers d'autres pays. Un projet similaire de gestion des DASRI, intitulé « Soutien au programme de réforme de santé en Syrie dans la gestion des déchets hospitaliers infectieux » a été confié à arcenciel en 2008-2012, en partenariat avec une ONG syrienne et avec le support de la Coopération Espagnole (AECID).

RECHERCHE DE SOLUTIONS ADAPTÉES POUR LES AUTRES DASR

Même si le problème de la grande majorité des déchets d'activités de soins à risque (DASR) est aujourd'hui résolu, d'autres DASR (déchets pharmaceutiques dont les déchets cytotoxiques, déchets chimiques, métaux lourds...) ne disposent toujours pas de solution à l'échelle nationale. En réponse à ce besoin, arcenciel tente, en collaboration avec des laboratoires

et universités locales et internationales, de trouver des solutions adaptées et respectueuses de l'environnement, pour ces déchets. Dans l'attente de la mise au point d'une solution de traitement, des méthodes de gestion permettant de limiter l'impact négatif de ces déchets sur l'environnement et la santé sont conseillées aux établissements de soins.

UTILISATION DES FIBRES DE DÉCHETS INDUSTRIELS ET DE DÉCHETS VÉGÉTALES POUR RENFORCER LES BÉTONS ET LES MORTIERS

Issa LABABIDI

RÉSUMÉ

Un nouveau domaine de renforcement des bétons par des fibres illustrées à partir de déchets industriels et végétales a été effectué au laboratoire des matériaux et constructions à la faculté de Génie civil à l'Université d'Alep. Les fibres utilisées sont : les fibres de polypropylène obtenues à partir de la coupure des déchets de tapies, et les fibres de chanvre « jute » obtenues à partir de la coupure des déchets de sacs des légumes aux marchés. Une amélioration de la résistance à la compression jusqu'à 50 % est obtenue, et la résistance à la fissuration est très développée par rapport aux bétons et mortiers sans fibres. Ce qui encourage à suivre les recherches pour des autres types de fibres de « déchets » et des autres types d'essais afin d'affirmer l'utilisation des bétons de fibres de « déchets » pour certaines applications telle que l'aspect rural et des constructions secondaires.

Mots-clés : *Bétons, mortiers, fibres, déchets industriels, déchets végétales, environnement, essais de compressions, fissurations, constructions.*

INTRODUCTION

Avec le développement vécu par les pays en voie de développement, la demande en matériaux de construction augmente de plus en plus. Le béton est le matériau de construction le plus utilisé. Il a une bonne résistance à la compression, mais ses résistances à la tension, flexion, cisaillement, torsion, à la fissuration sont très faibles. Le renforcement des bétons par des armatures en acier sont nécessaires pour améliorer leur résistance aux différentes contraintes auxquelles ils sont soumis. Le coût élevé des armatures en acier a conduit la recherche d'autres moyens de renforcement du béton tels que les fibres. Plusieurs types et formes de fibres existent,

les plus utilisables pour renforcer les bétons sont les fibres d'acier, puis les fibres de verre, polypropylène et de carbone.

Les applications des bétons contenant des fibres sont nombreuses, telles que : les « parkings », les dallages industrielles, les dallages des aéroports, les dômes, les réservoirs, les tunnels, les talus, la réhabilitation des structures.

Le béton de fibres est un matériau composite. Le principe de renforcement du béton qui est une matrice fragile, par des fibres ductiles consiste à créer un matériau composite de nouveau comportement plus ductile, profitant des avantages de la matrice et des fibres.

La capacité des fibres à résister aux microfissurations est très efficace. Car les fibres jouent un rôle de comblement des microfissurations dans le béton en s'accrochant entre les lèvres des fissures.

Les propriétés mécaniques du béton de fibres dépendent essentiellement de la qualité des fibres, sa structure géométrique, son dosage et des propriétés du béton et les adjuvants.

Dans cet article, nous proposons un nouveau principe de renforcement du béton par des fibres obtenues à partir de déchets industriels et végétaux. Ce qui entraîne un faible coût et une faible énergie grise participant à sauvegarder l'environnement.

MATÉRIAUX DE RECHERCHES

Les travaux de ces recherches se sont déroulés dans le laboratoire des matériaux et construction de la Faculté de génie civil à l'Université d'Alep. Nous avons utilisé les matériaux de recherches suivants :

1. Ciment portland normal avec la quantité de 300 kg/m³
2. Sables et graviers calcaire locaux

L'analyse granulaire des agrégats (calcaire locaux) est donnée sur la Figure 1. Les fines (inferieur de 0.075 mm) est de l'ordre 3.5 %, le sable (entre 0.075 mm et 4.75 mm) est de l'ordre 54 % et le gravier (entre 4.75 mm et 20 mm) est de l'ordre 42 %. L'équivalent de sable (propreté du sable)

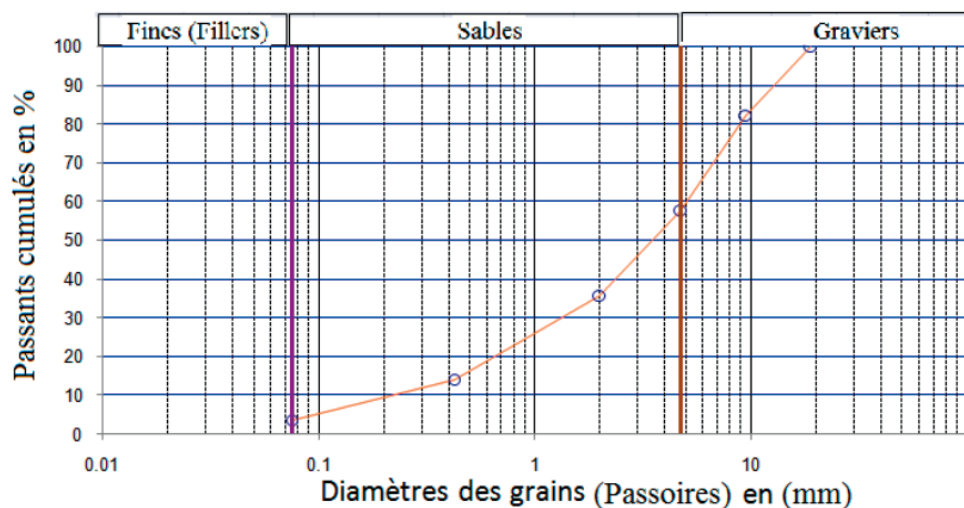


Figure 1 - Analyse granulairé des agrégats

3. Pourcentage de l'eau : $E/C = 50 \%$
4. Fluidifiant (SIRAMENT 163) de quantité $1.8 \text{ kg} / \text{m}^3$, pour avoir une bonne ouvrabilité aux mélanges
5. Les fibres

Les fibres de polypropylène sont obtenues à partir de la coupure des déchets de tapis. Les fibres de polypropylène sont des fibres plastiques minces, de différentes couleurs, chimiquement neutres et ne réagissent pas avec les composants du mélange du béton. La résistance des fibres de polypropylène à la tension est très forte, ainsi son élasticité. Le poids spécifique est faible et ces fibres n'absorbent pas que l'eau.

Les fibres de chanvre (jute) sont obtenues à partir de la coupure des déchets de sacs de légumes sur les marchés. Les fibres de chanvre « jute » sont des fibres végétales minces, en forme de cordon. La résistance des fibres de chanvre à la tension est forte, son poids spécifique est faible. Elles sont élastiques et absorbent l'eau.

Les déchets de tapis et les déchets de sacs de légumes sont d'abord lavés et séchés, ensuite, on redresse ses déformations et on découpe des cordons de 1.5 cm de longueur. La quantité des fibres était 6.6 kg/m^3 , ce qui égale un dosage massique des fibres est de 0.3% et un dosage volumique 11% .

LES ESSAIS

Les bétons

La composition des bétons était pour 1 m³ du béton : ciment portland normal avec la quantité de 300 kg/m³, le pourcentage de l'eau : E/C = 50 %, la quantité des fibres était 6.6 kg/m³ avec une longueur de 1.5 cm, la quantité du fluidifiant était 1.8 kg/m³.

Plusieurs quantités de sable et de gravier locaux ont été utilisées afin d'atteindre la meilleure résistance à la compression sur des éprouvettes cubiques de (15×15×15) cm et après 28 jours. Les résultats sont donnés dans le tableau 1.

N° de mélange	No éprouvette	Quantité de mélange			Résistance à la compression (kg/cm ²)	Résistance à la compression (kg/cm ²)
		ciment	sable	gravier		
1	1	1	2	2	153	137
	2				115	
	3				142	
2	1	1	1	1	158	144
	2				148	
	3				1264	
3	1	1	2	1	193	182
	2				185	
	3				168	
4	1	1	1	2	210	196
	2				171	
	3				206	
5	1	1	1.5	1.5	160	140
	2				126	
	3				134	

Tableau 1. Résistance à la compression de différents types de béton

La composition de la 4^{ème} composition d'agrégats est prise en compte pour sa meilleur résistance à la compression. Les deux types de fibres : polypropylène et chanvre « jute » sont testés. Les résultats de la résistance à la compression et les ouvrabilités des mélanges sont donnés dans le tableau 2.

Utilisation des fibres de déchets industriels et de déchets végétales pour renforcer les bétons et les mortiers

Type de béton	N° éprouvette	Ouvrabilité	Résistance à la compression (kg/cm ²)	Moyenne de la résistance (kg/cm ²)
Béton témoin	1	bien (béton mou) 11 cm slump	200	220
	2		244	
	3		218	
Béton de fibres de polypropylène	1	bien (béton mou) 9 cm slump	317	330
	2		348	
	3		326	
Béton de fibres de chanvre "jute"	1	bien (béton mou) 9 cm slump	332	337
	2		320	
	3		360	

Tableau 2 - Résistance à la compression des bétons de fibres

L'adjonction de fibres aux bétons empêche la séparation des éprouvettes en morceaux. La rupture fragile des éprouvettes de béton est transformée en rupture ductile pour les éprouvettes de béton de fibres.

Les mortiers

La composition des mortiers était dans les proportions suivantes ASTM : C78-74 sauf la quantité de l'eau : ciment = 1 , sable = 2.75 , E/C = 60 %, la quantité des fibres était 3 gr pour 1 kg ciment. Les mortiers sont coulés dans des éprouvettes cubiques de (5×5×5) cm. 9 éprouvettes de chaque type de mortier sont soumises aux essais de compression au bout de 7 jours. Les résultats sont donnés dans le tableau 3.

Type de mortiers	Nombre d'éprouvettes	Moyenne de la résistance à la compression (kg/cm ²)	Standard déviation
Mortier témoin	9	165	53.2
Mortier de fibres de polypropylène	9	172	43.4
mortier de fibres de chanvre "jute"	9	122	10.9

Tableau 2 - Résistance à la compression des mortiers de fibres

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

1/ La rupture des éprouvettes renforcées en fibres présente un état de fissuration diffus et non concentré (matériau ductile) alors que le béton non renforcé rompt nettement et sa rupture est locale (matériau fragile). Ce qui est conforme aux résultats de (D. LEVACHER *et al.*). La sécurité des structures avec les fibres est nettement augmentée.

2/ L'addition des fibres de polypropylène et de chanvre « jute » aux bétons et mortiers réduit l'ouvrabilité et nécessite l'ajout d'un fluidifiant.

3/ Vu la faible densité des fibres (60 kg/m^3), un petit dosage en poids de fibres (6.6 kg/m^3), entraîne un grand dosage volumique de fibres. Le malaxage des bétons et mortiers est devenu délicat et demande plus de prudence et d'efforts.

4/ L'addition de fibres aux bétons augmente la résistance à la compression de l'ordre de 50 %.

5/ L'addition de fibres aux mortiers sans fluidifiant entraîne une sorte de non-homogénéité des mortiers de fibres. Ce qui réduit les valeurs de la résistance à la compression

6/ La diminution de la valeur standard de déviation, surtout dans le cas du mortier avec fibres de chanvre, est une cause de répartition irrégulière des fibres dans le mortier.

CONCLUSIONS

1/ L'addition d'un petit dosage en poids de fibres de polypropylène et de chanvre aux bétons augmente la résistance à la compression.

2/ L'addition des fibres aux bétons résorbe les fissurations et les transforment en forme non concentré (rupture ductile). Ce qui donne plus de sécurité aux structures.

3/ Les fibres de chanvre ont une faible énergie grise (suivant Fiche Ressources 5MP09-R1)

4/ Les résultats sont encourageants, pour des autres types d'essais afin d'élargir les domaines d'utilisation des fibres de déchets pour le renforcement des bétons.

5/ D'autres expériences sont nécessaires pour étudier les réactions chimiques entre fibres et ciment, et la durabilité à long terme pour des structures de bétons de fibres végétales.

RÉFÉRENCES

ACADÉMIE DE TOULOUSE : « Les matériaux de l'habitat ». Fiche Ressources. 5MP09-R1.

D. LEVACHER, F. WANG, Y. LIANG : « Co-valorisation de matériaux fins équivalents à des sédiments ». XI^{ème} Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil. Les Sables d'Olonne, 22-25 juin 2010.

LABABIDI Issa : *“Reinforcing Concrete by Some Useless Industrial & Natural Fibers”*. Conference on *“Construction Materials in Arab Countries”* 9-12 Apr. 2000. Cairo, EGYPT.

LABABIDI Issa : *“Using of Fibers & Some New Products for Modern Concrete Applications”*. In *10Th International Technical Conference On Cement And Building Materials*. 9-12 November 1998. Beirut, LEBANON.

LABABIDI Issa : *“Using of Some New Products for Repairing and Strengthening of Reinforced Concrete Damaged Members”*. The Arab Conference on Repair and Rehabilitation of structures. 16-19 Sept. 1998. Cairo, EGYPT.

LABABIDI I., BOTTERO A., OUDJEHANE A. et RACLIN J. : « Étude Expérimentale du Comportement Mécanique de Milieux Anisotropes ». 1^{er} Congrès National de Mécanique. 19–21 Avril 1993. École Nationale de l'industrie Minérale. Rabat-MAROC.

LABABIDI Issa : « Contribution à l'Étude des Bétons Renforcés de Fibres d'Acier ». Thèse de doctorat, Jury : J.P. BOEHLER, A. BOTTERO, J.RACLIN, S. TURGEMAN, R.M. COURTADE et G. DURAND. Université Joseph Fourier, avril 1992, 378 pp. Grenoble-FRANCE.

AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE

IMPACT DES CARRIÈRES ABANDONNÉES SUR L'ENVIRONNEMENT AU LIBAN

Talal DARWICH

INTRODUCTION

Les activités humaines continuent à exercer une pression croissante sur les ressources naturelles limitées au Liban dans des conditions variant de subhumides à arides (DARWISH *et al.* 2004). Cependant, la réduction de la couverture verte en raison des incendies des forêts et des carrières contribue fortement à exacerber la pénurie en eau au Liban et dans d'autres pays de la Méditerranée orientale. De plus, la mauvaise gestion et l'abandon des sites fouillés accélèrent les glissements de terrain et l'érosion hydrique affectant le régime hydrologique et l'intégrité des écosystèmes. La reprise spontanée de la végétation sur les sites dégradés dans les conditions méditerranéennes sèches devient de plus en plus un processus pénible et long. En effet, l'exploitation non réglementée des carrières pendant de longues années a laissé des centaines de terres abandonnées dans le pays (USAID/ECODIT 2002).

Les carrières représentent une activité économique d'importance majeure, qui sécurise les matériaux de construction, ressource indispensable pour le développement économique et industriel d'une nation. Malgré l'exigence des réglementations récentes au Liban sur l'évaluation de l'impact environnemental des carrières sur les ressources naturelles et une réhabilitation avant leur clôture, on observe sur le territoire libanais presque environ trois milles carrières abandonnées dont l'exploitation n'avait pas respecté les normes. Cette situation des carrières dégradées menace les ressources en eau, sol, et végétation et pose un risque de contamination pour la santé publique et l'environnement. En outre, l'absence d'une politique pour une gestion intégrée des ressources naturelles ainsi que les faiblesses institutionnelles ont accéléré la dégradation de l'écosystème sol-forêts, surtout dans les carrières dégradées (KHAWLIE, 1998). L'enlèvement du sol dans les carrières abandonnées contribue à la destruction des habitats

naturels, la perte de la biodiversité et l'accroissement de la vulnérabilité des eaux souterraines pour leur contamination en raison du calcaire dur à nature karstique et des sables à taux élevé d'infiltration.

Des outils performants tels que la télédétection et les SIG ont été utilisés pour localiser des carrières convenables pour l'industrie minière agrégée sur la zone côtière libanaise (KHAWLIE *et al.*, 1999). La végétation spontanée des carrières (KHATER *et al.* 2003) et leur aptitude comme site d'enfouissement ont été analysées (EL-FADEL *et al.* 2001). Un mode d'exploitation durable des carrières envisage la conservation de l'écosystème avec la réhabilitation du relief et de la couverture terrestre, le rapprochant ainsi de son état initial. La majorité des carrières abandonnées au Liban a laissé de graves cicatrices dans le paysage et un danger potentiel pour l'écosystème (ATALLAH *et al.* 2003).

Cependant, les études qui évaluent l'impact négatif des carrières abandonnées sur la dégradation des ressources naturelles dans la Méditerranée orientale à l'aide de la télédétection et du SIG, demeurent rares. En conséquence, l'objectif de ce travail est d'établir une modélisation de l'effet négatif des pratiques des carrières qui prévalent au Liban au détriment des ressources naturelles.

RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE DES CARRIÈRES

Le nombre des carrières abandonnées a fortement augmenté pour atteindre 784 en 1989 avec une superficie générale de 2897 ha. En 2005 leur nombre a atteint 1278 avec une superficie de 5267 ha. Les Mohafazats de la Bekaa et Mont Liban contenaient toujours la majorité de ces carrières (Tableau 1).

Caza	Nombre	%	Nombre	%	Surface	%	Surface	%
	1989		2005		1989		2005	
Nord	108	13.8	198	15.5	337	11.6	782	14.8
Mont-Liban	255	32.5	312	24.4	1040	36.0	1701	32.3
Bekaa	270	34.4	564	44.1	959	33.0	1753	33.3
Sud	151	19.3	204	16.0	561	19.4	1031	19.6
Total	784	100	1278	100	2897	100	5267	100

Tableau 1 - Évolution des carrières abandonnées entre 1989 et 2005 dans les régions Libanaises (ha).

Toutefois, le développement de ces carrières n'a pas suivi la même dynamique. Tout en respectant la distribution générale des carrières, leur nombre a évolué pour doubler au Nord et à la Bekaa, pour augmenter de 61 % au Mont Liban. Pendant 16 ans, la surface des sites des carrières abandonnées a presque doublée dans le pays.

DISTRIBUTION DES CARRIÈRES ET RISQUE ASSOCIÉ AUX RESSOURCES NATURELLES

La majorité des carrières sont localisés sur des pentes escarpées et très escarpées, contribuant à un risque supplémentaire affectant la stabilité des structures physiques et morphologiques du terrain. L'état actuel des carrières cause l'érosion hydrique du sol formé annuellement en mince lame autour des fragments de roches exposées, décrites par LAMOUREUX lors de son analyse de la pédogenèse sur roches carbonatées au Liban (LAMOUREUX 1974). En outre, une bonne partie de ces carrières se trouve dans des zones karstifiées posant des risques de contamination à la nappe.

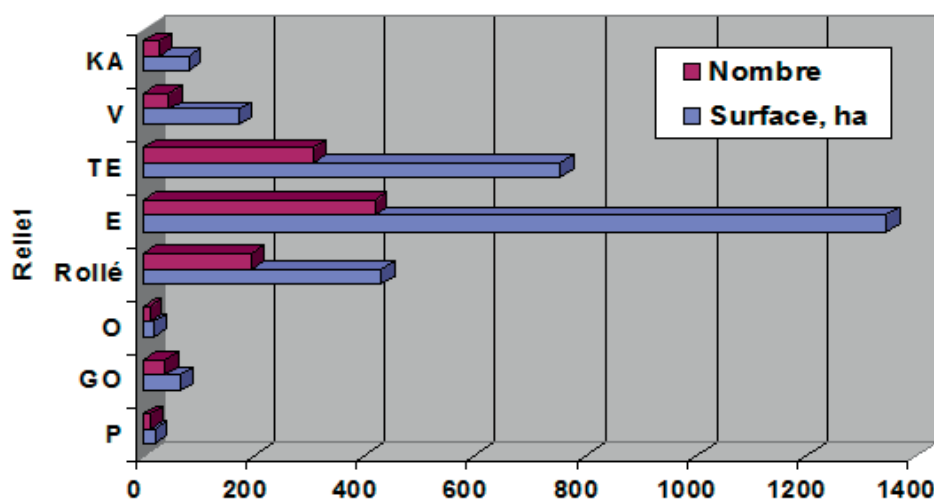


Figure 1 - Fréquence de distribution des carrières en relation avec le relief au Liban.

La majorité des carrières se répartit sur des roches à perméabilité élevée. L'efficacité de protection des eaux souterraines par les roches carbonatées, supposée moyenne et élevée selon le Concept Allemagne de l'Éfficiencie de Protection des Sols (1993), est discriminée par le fait que seulement 36 % des carrières se trouvent sur des roches à perméabilité confinée, tandis que la majorité se répartît sur des roches calcaires fissurées et karstifiées. Cela conduit au risque de transfert des polluants par écoulement superficiel ou par percolation expliquant ainsi le phénomène d'accumulation des métaux lourds dans les sédiments des rivières (tel est le cas de la Rivière Ibrahim) et leurs disparitions après la fermeture de la carrière (KORFALI and DAVIES 2003).

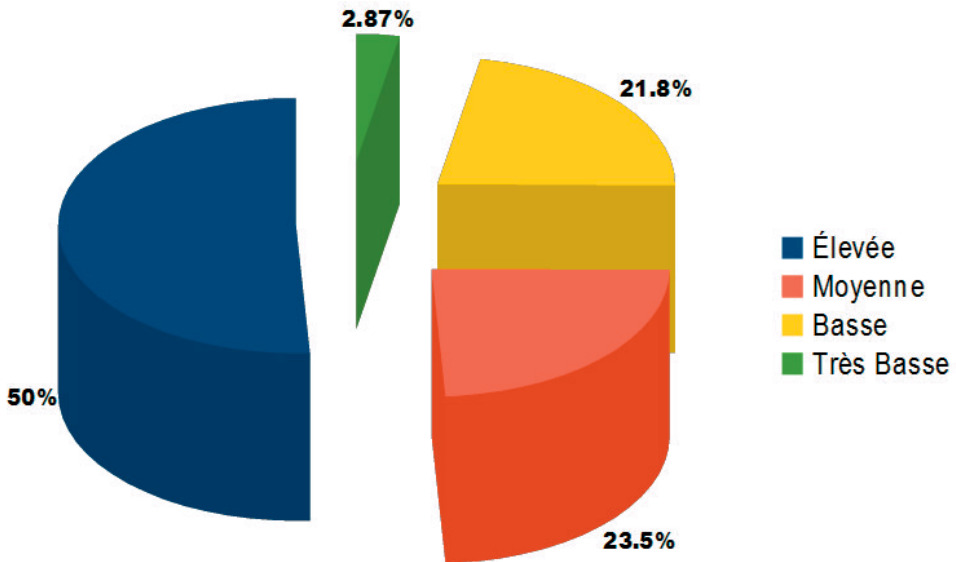


Figure 2 - Distribution des Carrières sur les roches dures en relation avec leur perméabilité.

PERTE DU SOL PAR LES CARRIÈRES AU LIBAN

La majeure partie des carrières se répartit sur les sols rouges méditerranéens, généralement considérés comme un *benchmark* caractérisant le paysage du bassin méditerranéen (Figure 3).

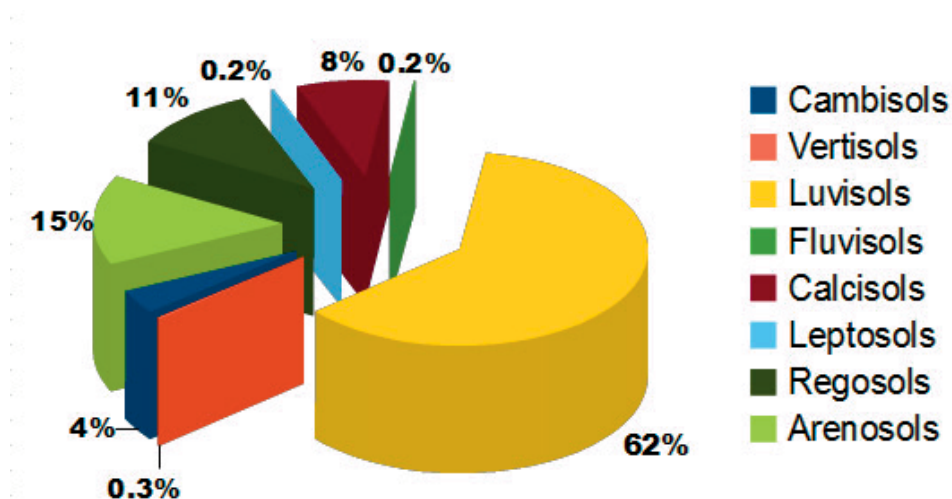


Figure 3 - Expansion des carrières sur les ressources en sol

Ces sols se distinguent par leur fertilité et leur structure résistante à l'érosion hydrique. En même temps ces sols sont très sensibles et fragiles en cas d'intervention humaine chaotique. L'interruption de l'équilibre naturel des écosystèmes avec ce sol aboutit à leur érosion et leur entassement sur les sites inférieurs et les cours d'eau, induisant une perte irréversible de l'habitat.

La modélisation de la productivité potentielle des sols et leur aptitude à l'agriculture, basée à la fois sur la géomorphologie, les caractéristiques physico-chimiques des sols et leurs susceptibilités à l'érosion, a permis de souligner la répartition initiale en 1989 et l'évolution des carrières vers 2005 sur la catégorie la plus productive du sol avec plus que 4500 ha des sols fertiles perdus et plus de 45000 ha des terres déséquilibrées (Figure 4). Cette distribution des sites dégradés induit les dégâts sur l'environnement causés par l'absence de plan de répartition géographique et de schéma directeur d'aménagement des territoires basé sur la qualité du terrain et l'impact des carrières sur les ressources non renouvelables et limitées du pays. Bien que le SDATL ait proposé un plan d'aménagement et des zones de développement agricole, les décisions d'implémentation restent toujours absentes.



Figure 4 - Impact des carrières sur les ressources en sol au Liban.

EXPANSION DES CARRIÈRES SUR L'OCCUPATION DES SOLS AU LIBAN

Si l'on considère la superficie initiale des sites d'extraction des minéraux en 1989 comme un point de départ pour analyser l'expansion des carrières sur l'occupation du sol, on constate que plus que 14% des carrières ont envahi les forêts et les terres arables (Figure 5) et plus de 160 ha des zones urbanisées ont été menacées par l'intrusion des carrières (DARWISH et al. 2010). Les carrières importantes ont causé des dégâts importants sur l'intégrité de la forêt et induit ainsi à sa fragmentation (Figure 6 A et B), un processus décrit comme l'un des facteurs principaux provoquant à la détérioration des écosystèmes naturels au Liban (JOMAA et al. 2008). La modélisation de l'impact des carrières révèle que respectivement 272 et 657 carrières ont un effet négatif élevé et modéré sur les ressources naturelles (DARWISH et al. 2011).

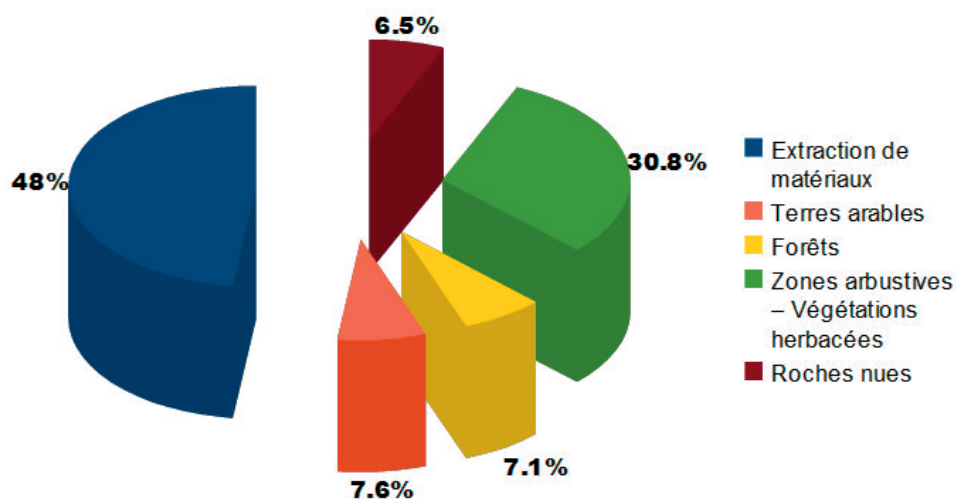


Figure 5 - Expansion des carrières sur la couverture végétale.

Le mode d'exploitation des carrières au Liban reflète le mécanisme de contrôle imposé par les institutions. En d'autres termes, la permission ou les réglementations seront-elles coupables de ces résultats néfastes sur l'environnement, l'économie et la santé publique ?

En effet, cette étude indique que plus de 600 carrières abandonnées demeurent instables dans leur état actuel et peuvent causer des risques de stabilité territoriale en cas de tremblement de terre ou d'inondation et continuent à être la source de pollution de l'air par les poussières qui se diffusent dans la périphérie.

La pratique suivie en Allemagne et aux États-Unis consiste à donner deux licences simultanées à un exploitant qui commence la réhabilitation d'une carrière avant la moitié du travail et utilise les matériaux inertes et ballastes pour reformer et reconstituer le paysage. Ce mode d'action permet soit de régénérer l'écosystème en retrouvant son état naturel initial (Figures 16 C et D), soit de récupérer le site pour l'utiliser comme un lac, méthode extrêmement efficace pour la gestion des eaux de ruissellement (et d'inondation) et leur utilisation en irrigation et/ou recharge de la nappe (DARWISH *et al.* 2008).

<i>A. Carrières abandonnées au milieu de forêts au Liban</i>	<i>B. Stress hydrique observé sur des arbres entourés par des carrières abandonnées au Liban</i>
	
<i>C. Carrières ouvertes du Lignite en Allemagne</i>	<i>D. Réhabilitation du paysage en Allemagne</i>
	

Figure 6 - Comparaison des pratiques de réhabilitation des sites exploités entre le Liban et l'Allemagne

BIBLIOGRAPHIE

ATALLAH T, HAJJ S, RIZK H, CHERFANE A, EL-ALIA R, DELAJUDIE P.,2003: "Survey of soils of abandoned quarries in Mount-Lebanon ". Soils of urban, industrial, traffic and mining. SUITMA, Nancy, Paris. 9–11 July.

Concept Allemagne de l'Efficiencie de Protection des Sols, 1993 : BGR, Allemagne.

DARWISH T, Faour G, KHAWLIE M., 2004: "Assessing soil degradation by landuse-cover change in coastal Lebanon", Lebanese Science Journal 5, p. 45–59.

DARWISH, T.M., STEHOUWER, R, MILLER, D, SLOAN, J., JOMAA, I, SHABAN, A, KHATER, C, and M HAMZÉ, 2008 : "Assessment of abandoned quarries for revegetation and water harvesting in Lebanon, East Mediterranean". National Meeting of the American Society of Mining and Reclamation, Richmond VA, New Opportunities to Apply Our Science June 14-19, 2008, p. 271-284. R.I. Barnhisel (Ed.) Published by ASMR, 3134 Montavesta Rd., Lexington, KY 40502.

DARWISH, TM, STEHOUWER, R, KHATER, C, JOMAA, I, MILLER, D, SLOAN, J, SHABAN, A, and M. HAMZE, 2010: "Rehabilitation of Deserted Quarries in Lebanon to initial Land Cover or Alternative Land Uses", Land Degradation and Desertification: Assessment, Mitigation and Remediation (Zdruli, Pagliai, Kapur and Faz Cano (Eds). Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York *ISBN-13 : * 978-9048186563. Chapter 25 : 333-345.

DARWISH, T, KHATER, C, JOMAA, I, STEHOUWER, R, SHABAN, A, and M HAMZÉ, 2011: "Environmental impact of quarries on natural resources in Lebanon", Land Degradation and Development, 22 , p. 345–358.

EL-FADEL M, SADEK S, CHAHINE W, 2001: "Environmental management of quarries as waste disposal facilities", Environmental Management 27 , p. 515–531.

JOMAA I, AUDA Y, ABI SALEH B, HAMZE M, SAFI S, 2008: "Landscape spatial dynamics over 38 years under natural and anthropogenic pressures in Mount Lebanon", *Landscape and Urban Planning* 87 , p. 67–75.

KHATER C, MARTIN A, MAILLET J, 2003: "Spontaneous vegetation dynamics and restoration prospects for limestone quarries in Lebanon", *Applied Vegetation Science*, 2 p. 199-204.

KHAWLIE M, 1998: "An environmental perspective on quarries for the construction industry in Lebanon", *Aggregate Resources- A global perspective*. A. A. Balkema Pub. 1998, p. 387-395.

KHAWLIE M, SHABAN A, AWAD M, FAOUR G, HADDAD T, 1999: "Contribution of remote sensing and GIS in locating quarries for aggregates in Lebanon's coastal area", CNRS, 1999. 15th Middle East ESRI User Conference, Beirut, Lebanon.

KORFALI SI, DAVIES BE, 2003: "Acomparision of metals in sediments and water in the river Nahr-Ibrahim, Lebanon 1996 and 1999", *Environmental Geochemistry and Health* 1 , p. 41-50.

LAMOUREUX, M, 1974 : "Application d'une méthode cinétique à l'étude du fer de certains sols et constituants divers", *Transactions of the 10th International Congress of Soil Science*. Moscow, V. 7, p. 170-178.

USAID-ECODIT , 2002 : "Lebanon Environmental Program Assessment Report". LAG-I-00-99- 00017-00.

RÉHABILITER LES CARRIÈRES DU LIBAN : MISSION IMPOSSIBLE, OU TRAVAILLER AVEC ET POUR LE DÉVELOPPEMENT ?

KHATER, C.¹, EL-HAJJ, R.¹ et VIGLIONE, J.²

¹ Centre de Télédétection, Conseil National de la Recherche Scientifique, BP 11-8281, Riad el Solh, Beyrouth, Liban

² ECO-MED SARL, Tour Méditerranée, 13e étage, 65 avenue Jules Cantini - 13298 Marseille cedex 20, France

INTRODUCTION

Avec un emploi sur cinq, hors secteur des services, la construction est un des moteurs de l'économie libanaise (VERDEIL *et al.*, 2007). Mais ce dynamisme a un coût : l'industrie des carrières, si elle permet cette activité, a aussi un lourd impact sur l'environnement naturel et sur la qualité de vie des riverains (DARWISH *et al.*, 2010a). Plusieurs décennies d'exploitation non contrôlée des carrières au Liban et leur abandon après l'arrêt de l'exploitation ont ainsi entraîné un mitage quasi généralisé du paysage libanais (CLÉMENTE *et al.*, 2004 ; KHATER, 2004) ainsi des impacts négatifs sur la sécurité et l'environnement (MILGROM, 2008). Organiser la réhabilitation des carrières en fin d'exploitation est donc plus que jamais un enjeu pour ce pays à taille réduite et à forte densité d'occupation.

La réhabilitation des carrières abandonnées peut être définie comme « l'implication humaine pour supprimer les dommages causés par les carrières afin d'attribuer une nouvelle fonction au territoire endommagé » (ENIS, 1974 cité par MILGROM, 2008). Elle peut également permettre de répondre à la « demande sociale d'amélioration de la qualité de vie » (DAMIGOS et KALIAMPAKOS, 2002). Les confusions sur l'utilisation de termes plus ou moins synonymes tels que « restauration », « réhabilitation », et « réaffectation » ont fait l'objet de nombreuses controverses. ARONSON *et al.* (1993), ARONSON et LE FLOC'H (1995) et SER (2002) présentent une revue exhaustive des définitions et concepts en cette matière. Plus récemment, la Société pour l'Écologie de la Restauration définit en 2002 la « restauration écologique » comme étant « toute activité intentionnelle ayant pour but d'initier ou d'accélérer le processus de régénération (*recovery*) d'un écosystème qui a été dégradé, détruit ou transformé. Le fonctionnement d'un écosystème restauré concerne son état général (*health*), son intégrité (*integrity*) et sa durabilité (*sustainability*) ». Le terme « réhabilitation » est

par conséquent utilisé *sensu lato* pour décrire un projet visant avant tout à permettre à un écosystème de regagner une trajectoire fonctionnelle aussi proche que possible des conditions historiques. Elle concerne la restauration de milieux particulièrement dégradés, ayant franchi des seuils d'irréversibilité. La réhabilitation insiste donc sur la « réparation des processus, de la productivité et des services de l'écosystème en termes de composition spécifique et de structure des communautés » (SER, 2004).

Aujourd'hui, il existe une pression grandissante de la part des gouvernements et citoyens pour réhabiliter les anciennes carrières (CLÉMENTE *et al.*, 2004). Beaucoup de pays se sont d'ailleurs dotés, dans leur législation, de textes obligeant à réhabiliter les carrières après l'arrêt de l'exploitation (Gouvernement Wallon, 2003) et nombreux guides ont été publiés pour proposer des alternatives écologiques à cette démarche (ECOMED, 2006).

Au Liban, et depuis la création du Ministère de l'Environnement en 1993, la problématique du secteur carrier est une priorité en termes d'aménagement du territoire et de protection de l'environnement. Les efforts se sont, dans un premier temps, concentrés sur la régulation du secteur qui s'est longtemps développé de manière non contrôlée à travers tout le pays. Mais depuis quelques années, et surtout depuis qu'un processus de gestion et de régularisation du secteur a été initié, c'est la question de la réhabilitation de centaines de carrières abandonnées et de celles encore en activité qui est posée. Un plan national de réhabilitation est désormais incontournable. Dans ce cadre, le projet ABQUAR : « *Alleviating Barriers for Quarries Rehabilitation in Lebanon* », co-financé par la Commission Européenne et le Ministère de l'Environnement libanais, élaborera une « carte d'identité » pour chaque carrière incluant des données administratives, techniques et financières afin d'aider à la gestion, à l'attribution des permis et à la mise en œuvre de la réhabilitation des carrières au Liban (ELARD, 2007).

LES CARRIÈRES EXISTENT CAR ELLES SONT INDISPENSABLES

De par son histoire et sa situation géographique et économique, caractérisé par une pression anthropique importante, des conditions

climatiques et édaphiques particulières et la présence de nombreux écosystèmes dégradés, le Liban représente un bon prototype des pays méditerranéens en développement. Le contexte sociopolitique instable qui y a prévalu au cours de trois décennies a eu pour conséquences directes une dispersion de l'habitat et une conurbanisation qui a rapidement progressé le long des axes principaux de circulation.

Pour pallier une croissance démographique et urbaine incontrôlée et une demande croissante exponentielle de matériaux d'extraction, l'ouverture de carrières exploitées au coup par coup et au gré des disponibilités financières et du clientélisme politique, l'exploitation sauvage et illégale de ce secteur a résulté en un gaspillage des ressources et une destruction de sites. Ces activités ont provoqué une érosion accélérée du substrat affleurant, une perte croissante de la biodiversité et une agression visuelle paysagère (KHATER, 2004).

Exploitations de type le plus souvent familial, les carrières d'extraction du gravier et des pierres de taille ont suivi dans leur développement l'expansion urbaine qui a concerné la côte libanaise au début des années 60 et s'est étendue progressivement vers le Mont Liban et le Kesrouan (IAURIF/ Ecodit, 1999).

Aujourd'hui la consommation de matériaux reste importante pour un pays de cette superficie (Dar Al-Handasah et IAURIF, 2004). Le Schéma Directeur d'Aménagement du Territoire Libanais (2005) indique que les besoins cumulés en graviers et sables représentent à eux deux plus de 80% des besoins totaux en matériaux. Ils sont utilisés principalement pour la construction de logements. L'entretien et l'extension du réseau routier consomment également une quantité importante de granulats. Les besoins annuels moyens pour la période de 2000 à 2030 ont été évalués entre 2 et 2,5 millions de m³ rien que pour les granulats. Avec les autres matériaux extraits (calcaires cimentiers, pierres d'apparat, argiles etc.), le volume à extraire, pour les besoins courants du secteur bâtiments et travaux publics libanais, peut représenter jusqu'à 3 millions de m³ par an.

La figure 1 représente la répartition des carrières par secteur d'activité établie d'après Dar Al-Handasah (1996) alors que la figure 2 illustre l'impact des activités de carrières sur les écosystèmes naturels au Liban (DARWISH *et al.*, 2010b)

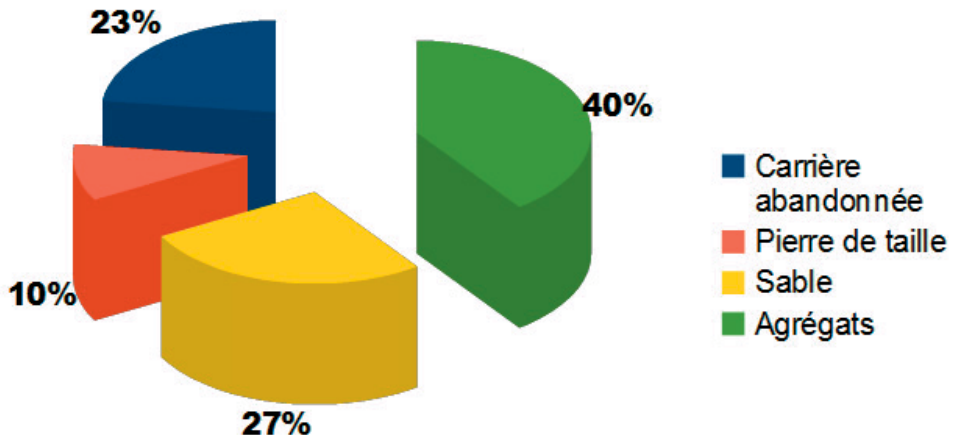


Figure 1 - Répartition des carrières au Liban par secteur d'activité (Dar Al-Handasah, 1996)

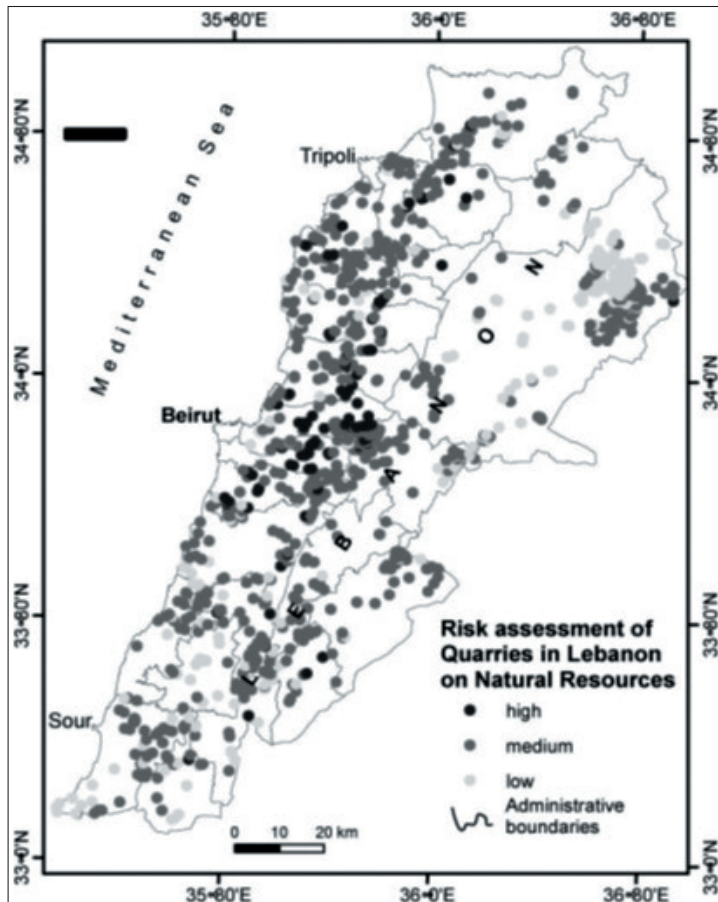


Figure 2 - Impact des activités de carrières sur les écosystèmes naturels au Liban (DARWISH et al., 2010b)

UN CADRE LÉGAL BALBUTIANT

La nécessité des activités d'extraction relève de leur importance aux niveaux économiques et financiers et au service des besoins de développement social et urbain. Les changements récents dans la politique libanaise gouvernementale imposent la réhabilitation des carrières. Toutefois, à partir des années 1980, un grand nombre de carrières au Liban a été abandonné et reste à ce jour sans plan de gestion établi (DARWISH *et al.*, 2010b).

Un rapport officiel recense en 1996, 710 carrières réparties sur l'ensemble du territoire, soit 1 carrière/14.7 Km² (Dar Al-Handasah, 1996) alors que des chiffres non officiels de 1995 dénombraient jusqu'à 1800 exploitations sur le territoire. Sur 275 sites en activités observés par Dar Al-Handasah en 1996, seuls 151 jouissaient d'une autorisation. Par extrapolation, on peut en déduire que seules 46 % des carrières à l'époque opéraient avec une forme de licence. La figure 3 évoque la surface exploitée par les carrières au Liban ainsi que leur statut légal.

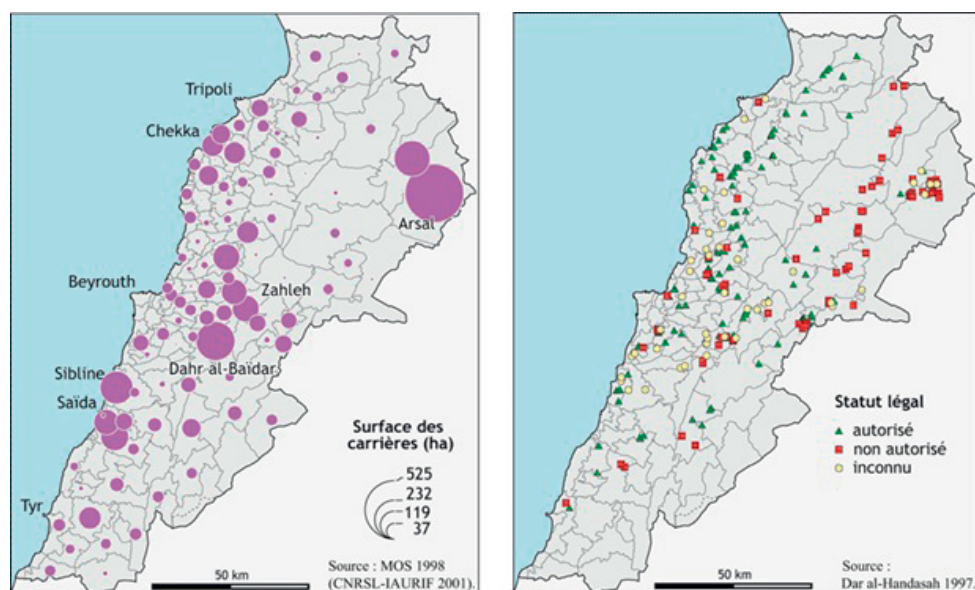


Figure 3 - surface et statut légal des carrières au Liban (CNRSI/IAURIF, 2001 ; Dar Al-Handasah, 1996)

En effet, ce n'est qu'en 1997 que la régulation du secteur carrières a été initiée par l'adoption d'un arrêté administratif sur décision du Ministère de l'Environnement. Ce décret visait à arrêter les exploitations en ne délivrant que dans certains cas des permis spéciaux d'exploitation de durée limitée, connus sous le nom de « délais administratifs ». Ces délais étaient attribués par le Ministère de l'Intérieur et des Municipalités (KHATER, 2004 ; Communication personnelle, M. Nadim MROUEH, Ministère de l'Environnement).

En 2002, le décret 8803 est venu annuler l'ensemble des délais administratifs et établir les modalités d'obtention de permis d'exploitation d'une durée maximale de dix ans pour les carrières des cimenteries et de cinq ans pour les autres types de carrières. Le décret 8803/2002 imposa aussi la réhabilitation des carrières abandonnées, illégales ou n'opérant plus. Nonobstant, les défaillances dans l'application de la loi posent le problème majeur dans le cadre de la réhabilitation (DELPEUCH, 2010). Elles résident en premier lieu au niveau de la taxe environnementale qui serait prélevée de manière non systématique et qui demeurerait inutilisée par les pouvoirs publics jusqu'à aujourd'hui ; et en second lieu dans l'exploitation abusive des carrières, compliquant la démarche de réhabilitation. Ces différentes défaillances s'expliqueraient notamment par le manque d'effectif (lié au manque de budget) attribué au Ministère de l'Environnement, chargé du suivi des exploitations. Le problème légal relève aussi du manque d'appui et d'encadrement légal pour le processus d'une réhabilitation souhaitable. La loi, à cet égard, ne précise pas les modalités d'application de la réhabilitation et laisse place à trop d'injustice quant aux conditions fixées pour la réhabilitation lors de l'attribution des permis (DELPEUCH, 2010). Enfin, l'application de la loi est notamment entravée par d'importantes interférences politiques.

LA RÉHABILITATION, UNE NÉCESSITÉ INCONTOURNABLE

Les processus naturels de succession sur une carrière abandonnée sont normalement lents et encore plus lents dans un contexte méditerranéen où les conditions climatiques et les conditions de sécheresse pourraient laisser écouler 40 ans pour aboutir à une cicatrisation partielle (KHATER, 2004; KHATER et MARTIN, 2007). La réhabilitation s'avère ainsi une nécessité

inéluctable afin de restaurer, dans la mesure du possible, l'écosystème dégradé par les activités d'excavation. Mais pourquoi réhabiliter ? Pour réduire les conséquences sur l'environnement et les ressources naturelles ? Par mesure de sécurité ? Ou par engagement éthique et légal ?

En effet, l'ouverture d'une carrière nécessite la mise à nu de la roche mère ainsi qu'une modification significative de la topographie ce qui entraîne l'élimination de l'écosystème d'origine. « Les relations écologiques fondamentales sont irréversiblement perturbées et la biodiversité du site est fortement réduite » (BRADSHAW, 1997). En addition aux dommages directement engendrés sur les sites d'exploitation, les larges aires d'excavation entraînent une fragmentation continue des habitats. Ce phénomène tend à isoler les populations végétales et animales, perturbant les flux de gènes, exacerbant l'érosion de la biodiversité et augmentant la consanguinité des espèces subsistantes (SKLENICKA *et al.*, 2003).

Au Liban, la plupart des carrières de calcaire et de dolomite sont localisées en haute montagne. Dès lors, la plupart se trouvent sur des terrains pentus (62,2 %) voire très pentus (31 %), ce qui augmente les risques de glissements de terrain, pertes de sol et mouvements de masses, perturbant de la sorte le régime d'écoulement hydrique (DARWISH *et al.*, 2010b) et entraînent d'importants risques d'érosion des sols superficiels et de sédimentation en aval. La perturbation des pentes accentue également les torrents, en particulier quand la couverture végétale est retirée ou intensivement dégradée (DARWISH *et al.*, 2010b). La combinaison de ces différents phénomènes entraînerait une perte de sol liée à l'exploitation des carrières au Liban de 220 tonnes par an (SOER, 2001).

L'émission de poussière, la pollution sonore, l'agression visuelle, la dépréciation de la valeur des terrains et propriétés, les chutes de pierres, la soustraction de larges étendues de terres productives, l'impact sévère sur le réseau routier, la pollution des ressources en eaux phréatiques et en eaux de surfaces, sont parmi une multitude, des conséquences liées aux activités des carrières. La réhabilitation demeure donc une nécessité incontournable et un enjeu essentiel pour la conservation et la restauration durable des écosystèmes dégradés.

LA RÉHABILITATION, UNE DÉMARCHE PROGRESSIVE

La réhabilitation écologique fait partie du plan de réaménagement global d'une carrière. À ce titre, elle doit être :

- Réfléchi et anticipé (motifs, objectifs),
- Intégrée (contexte local),
- Progressive et planifiée,
- Concertée localement (acceptabilité),
- Régulièrement suivie et évaluée (retour d'expérience, actions correctives).

La réhabilitation écologique progressive dans le « Plan de réaménagement » requiert un processus de planification et d'application des actions du génie de la réhabilitation dans une perspective de retour d'expérience visant une application ultérieure mieux adaptée des acquis et apprentissages de chaque plan de réhabilitation réalisé dans un contexte déterminé en milieu méditerranéen. La réhabilitation ne consiste pas ainsi en une recette uniformément perpétrée, mais en une itérative apportant désormais une plus-value à chaque nouvelle initiative d'application.

Les principaux moyens d'action aboutissant à une réhabilitation intégrée d'un site en question se résument à :

- Un réaménagement global du site (cassée des fronts, purge de falaises, défrichement et coupes, écobuage, mise en eau des fonds de carrières, etc.)
- L'adoption des principes de génie écologique et de la restauration écologique (création d'habitats, de continuités arbustives et forestières, etc.)
- L'évaluation et la surveillance environnementales continues (suivis scientifiques de la reconquête, traçabilité des opérations, retour d'expérience)

Les conditions d'une bonne réhabilitation dégagent à cet égard de la bonne connaissance du fonctionnement naturel du site, du respect des étapes préalables au lancement de la réhabilitation, de l'acceptabilité locale des objectifs et de la démarche du processus et de l'évaluation régulière des résultats des actions engagées.

La veille écologique s'avère être à ce niveau un outil tranchant dans une démarche innovante et concluante de réhabilitation. La mise en place progressive d'une veille écologique aurait pour buts de :

- Suivre la dynamique végétale naturelle et notamment la flore patrimoniale ;
- Surveiller l'apparition ou la découverte d'éventuelle d'espèces remarquables ou indésirables et envisager les préconisations qui s'imposent ;
- Observer le comportement de la faune et de la flore limitrophes à la carrière, face à d'éventuelles perturbations liées à l'exploitation et proposer alors des recommandations constructives visant à limiter ces dégradations ;
- Mieux connaître le patrimoine naturel local afin de relativiser en connaissance de cause, les impacts de l'exploitation sur les écosystèmes concernés ;
- Assurer enfin un cadre scientifique conseil, notamment en matière de réhabilitation écologique progressive du site (revégétalisation et recréation d'écosystèmes).

Le processus de réhabilitation tient ainsi en compte et reprend en considération l'état naturel originel de l'écosystème, pour définir et orienter les grands axes d'intervention et prévoir le dessein futur du site en fonction de ces propriétés et des potentialités écologiques préalablement définies. Il s'agit d'une démarche longue et progressive mettant en œuvre une multitude de disciplines allant de la simple caractérisation des enjeux du patrimoine écologique à l'application intégrée des principes du génie de la réhabilitation.

CONCLUSION

La réhabilitation des carrières au Liban demeure un enjeu crucial pour le maintien de l'intégrité des écosystèmes naturels en concordance avec une demande croissante en matières premières. Pourtant, des limites s'opposent et surpassent les initiatives de réhabilitation telles que le manque de législations, de stratégies et de plans nationaux, le financement, l'instabilité politique, les conflits d'intérêt individuels, etc. Malgré tout, nous disposons de tous les éléments du savoir-faire pour intervenir afin de concilier les besoins des entreprises aux priorités environnementales. Après tout, il vaut mieux « Faire » que ne « Rien Faire ».

Chaque carrière est unique. Chaque carrière a son histoire. Il faut lire dans son présent pour identifier des accroches qui lui permettront de mieux définir son avenir. L'évaluation environnementale reste un outil indispensable pour orienter tout processus de réhabilitation.

BIBLIOGRAPHIE

ARONSON, J. FLED, C., LE FLOC'H, E. OVALLE, C., et PONTANIER, R. 1993. Restoration and rehabilitation of degraded ecosystems in arid and semi-arid lands.I. A view from the South. *Restor. Ecol.*, 1(1), 8-17.

ARONSON, J. and LE FLOC'H, E. 1995. Écologie de la restauration, définition de quelques concepts de base. *Natures Sciences Sociétés*. Hors série: 29-35.

BRADSHAW, A.D., 1997. Restoration of mined lands - using natural processes. *Ecolical Engineering*, 8: 255-269.

CLEMENTE, A.S., WERNER, C., MÁGUAS, C., CABRAL, M.S., MARTINS-LOUÇÃO, M.A. AND CORREIA, O. 2004. Restoration of a limestone quarry: effect of soil amendements on the establishment of native Mediterranean sclerophyllous shrubs. *Restoration Ecology*, 12(1): 20-28.

CNRSL/IAURIF. 2001. Carte Mode d'Occupation du Sol 1998 (1/20.000)

DAMIGOS, D. and KALIAMPAKOS, D. 2003. Assessing the benefits of reclaiming urban quarries: a CVM analysis. *Landscape Urban Planning*, 64 : 249-258.

Dar Al-Handasah et IAURIF, 2004. Schéma Directeur d'Aménagement du Territoire Libanais- Document final de synthèse. Beyrouth : Conseil du développement et de la Reconstruction, Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la région d'Île-de-France (IAURIF) et Dar Al-Handasah (Shair and Partners) (DAR), <http://charbelnahas.org/spip.php?article13>, (20/04/10).

Dar Al-Handasah (Shair and Partners), 1996. A Nation-wide Study of Quarries, Technical report. Beirut: Ministry of Public Works.

DARWISH, T., STEHOUWER, R., KHATER, C., JOMAA, I., MILLER, D., SLOAN, J., SHABAN, A. and HAMZÉ, M. 2010a. Rehabilitation of deserted

quarries in Lebanon to initial land cover or alternative land uses. P. Zdruli et al. (eds.), *Land Degradation and Desertification: Assessment, Mitigation 333 and Remediation*, DOI 10.1007/978-90-481-8657-0_25, Springer Science + Business Media B.V. 2010.

DARWISH, T., KHATER, C., JOMAA, I., STEHOUWER, R., SHABAN, A. and HAMZÉ, M. 2010b. Environmental impact of quarries on natural resources in Lebanon. *Land Degradation and Development* 21: 1-14. www.interscience.wiley.com. DOI: 10.1002/ldr.1011.

DELPEUCH, B. 2010. Contribution à l'élaboration d'une stratégie de réhabilitation des carrières au Liban. Législation et acteurs - État des lieux et perspectives. Mémoire de fin d'études. Gembloux Agro-Bio Tech.

Ecomed, 2006. Guide technique de démarche paysagère. Aide à l'étude d'impact et au projet. Guide études d'impact. Carrière (2).

ELARD, 2007. Alleviating Barriers to Quarry Rehabilitation in Lebanon - ABQUAR, Task 3.1 - National quarry survey report. European Commission - Life Third Countries Program, Lebanese Ministry of Environment.

IAURIF/ECODIT. 1999. Évaluation environnementale de la cote libanaise, Conseil du développement et de la reconstruction, République Libanaise.

KHATER C., 2004. Dynamiques végétales post-perturbations sur les carrières calcaires au Liban. Stratégie pour l'écologie de la restauration en régions méditerranéennes. Thèse de Doctorat : Université de Montpellier II.

KHATER, C. and Martin, A., 2007. Application of restoration ecology principles to the practice of limestone quarry rehabilitation in Lebanon. *Lebanese Science Journal*, 8(1): 19-28.

MILGROM, T. 2008. Environmental aspects of rehabilitating abandoned quarries: Israel as a case study. *Landscape Urban Planning*, 87: 172-179.
SER 2002. Society for ecological restoration and policy working group, The SER primer on ecological restoration.

SER, 2004. Society for ecological restoration and policy working group, The SER primer on ecological restoration. http://www.ser.org/content/ecological_restoration_primer.asp.

SOER, 2001. Lebanon State of the Environment Report. Lebanon: Ministry of Environment, Lebanese Environment and Development Observatory (LEDO).

SKLENICKA, P. and CHARVATOVA, E. 2003. Stand continuity - a useful parameter for ecological networks in post-mining landscape. *Ecological Engineering*, 20: 287-296.

VERDEIL, E., FAOUR, G. and VELUT, S., 2007. Atlas du Liban, Chapitre 4 : Les mutations territoriales. Beyrouth, Liban : Institut français du Proche-Orient, CNRS Liban, <http://ifpo.revues.org/419>, (09/07/10).

VERS UNE CHARTE DE TERRITOIRE DURABLE POUR LA FÉDÉRATION DES MUNICIPALITÉS DU HAUT-METN

Éric BOUVARD

CONTEXTE DU PROJET

Le Haut-Metn : un territoire en cours de structuration

Créée en 1980 (décret n° 2632), la Fédération des Municipalités du Haut-Metn (mohafazat du Mont Liban) est longtemps restée en sommeil. Jusque récemment, elle comprenait 17 municipalités et villages.

Sa récente réactivation suscite l'intérêt des municipalités de la région, au point que le nombre de communes adhérentes, actuellement de 27, pourrait être porté à 29 dans le courant de l'année 2011 (ajouts de Kneisseh et Aabadiyeh). Le territoire de la Fédération, caractérisé jusqu'à aujourd'hui par sa discontinuité, regroupera alors une bonne partie des 42 municipalités et villages qui composent le Haut-Metn, à l'exception de Falougha, Btibat, Zandouqa, Saoufar, Bhamdoun-gare et de communes du fond de la vallée de Lamartine, sans toutefois couvrir l'ensemble de l'entité « paysagère exceptionnelle » identifiée par le Schéma directeur d'aménagement du territoire libanais (SDATL)¹, adopté par décret en juillet 2009.

Cet élargissement permettra toutefois de couvrir un territoire continu plus à même de porter des projets cohérents avec les questions environnementales.

¹ Document élaboré par l'Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la Région Île-de-France et Dar al Handassah.

Un projet politique pour le Haut-Metn

La Fédération souhaite définir sa propre politique de développement et d'aménagement sur l'ensemble de son territoire. Aussi, elle s'implique dans l'élaboration d'une charte pour l'aménagement et le développement durable de son territoire. Bien consciente du potentiel et des qualités de ce territoire, la Fédération s'engage dans une démarche approfondie qui consiste à définir les objectifs et les moyens d'une politique de développement durable fondée sur la protection et la mise en valeur du patrimoine écologique, paysager, architectural et archéologique.

La Région Île-de-France, dans le cadre de sa politique de coopération décentralisée avec le Liban, apporte un appui à cette initiative par le financement et la participation au pilotage technique des études et la mise en œuvre d'actions de sensibilisation auprès des élus et techniciens municipaux.

Le projet d'élaboration d'une charte de territoire

Conduit avec l'assistance technique de la Région Île-de-France, de l'Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la Région Île-de-France (IAU-IdF) et avec l'assistance administrative et institutionnelle du Bureau CGLU-BTVL, le projet vise à faire bénéficier les collectivités du Haut-Metn de l'expérience de la Région Île-de-France dans le domaine des Parcs naturels régionaux par l'accompagnement d'une démarche d'élaboration d'une charte intercommunale de territoire durable. La première phase du projet consiste à mieux définir le territoire concerné, puis à approfondir la connaissance de ce territoire afin d'identifier les grands enjeux et les orientations et enfin, d'élaborer la future charte de territoire.

Le concept de « Territoires durables » inspiré des « Parcs naturels régionaux »

Le Schéma Directeur de l'Aménagement du Territoire Libanais propose la réalisation d'un schéma global des espaces à vocation naturelle depuis les sommets jusqu'à la côte libanaise. Six « parcs naturels régionaux »,

que nous nommerons ici « Territoires durables »², sont identifiés au regard de la concentration d'atouts naturels, paysagers et patrimoniaux. Il est proposé de s'inspirer de la démarche des Parcs naturels régionaux développée en France : des territoires ruraux au patrimoine riche et fragile organisés autour d'un projet pour le développement durable du territoire : « la charte de territoire durable ».

Le SDATL précise en effet qu'un « territoire durable » se conçoit comme un projet porté par un ensemble de municipalités voisines, qui s'entendent sur un contrat sous la forme d'une **charte de développement durable** associant des activités non polluantes et non nocives, un développement urbain modéré et de qualité, et une préservation du cadre naturel.

Périmètre d'étude

La vallée du Nahr Beyrouth fait partie des « espaces paysagers de qualité exceptionnelle » du pays et des 6 sites identifiés en vue de la création de « parcs naturels régionaux » au Liban. Son espace comprend l'ensemble du bassin versant du nahr Beyrouth en amont de Aaraya et de Beit Mery ainsi que les vallées des *Nahr* Geamany, Delbeh et Karm.

Le périmètre d'étude comprend tout le territoire de la Fédération du Haut-Metn augmenté des municipalités et villages du *caza* de Baabda constituant les vallées de Lamartine et de Nahr Beyrouth : *Aabadiye*, Aaraya, Aarbaniye-Dlaybeh, Ain Mouaffaq, Arsoun, Baalchmay, Bhamdoun mahattat, Bmaryam, Btekhmay, Btibyat, Bzebdine, Chbaniye, Chmeisset, Chouit, Deir el Harf, Deir Khouna, Falougha, Hammana, Haret Hamze, Hasbaya el Metn, Hlaliye, Jouar el Haouz, Jouret Arsoun, Kfar Selouane, Khallouat, Khraibeh, Kneisseh, Mazraa, Qallaa, Qobbaya, Qornayel, Qortada, Qrayet, Qsaibe, Qtalé, Ras el Harf, Ras el Metn, Roueyssat el Ballout, Salima, Saoufar, Tarchich, Zandouqa, soit 42 municipalités et villages (*en souligné les 27 municipalités appartenant à la Fédération du Haut-Metn, en italique celles en cours d'adhésion*), ainsi que les 25 municipalités et villages périphériques

² Le « territoire durable » correspond à la notion de « parc naturel régional », inspirée des parcs naturels régionaux français, telle que définie dans la version française du SDATL et celle de « région respectueuse de l'environnement » définie dans la version arabe de ce document. Cela correspond aussi à la notion de « paysage protégé » défini par l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN).

faisant partie du bassin versant du Nahr Beyrouth et situés au Nord du Nahr Germaniye (*la totalité de la municipalité ou seulement la partie du territoire comprise dans le bassin versant*) : Aayroun, Ain ez Zeitoun, Ain es Sindiane, Aintoura el Metn, Ayoun el Metn, Baabdat, Beit Mery, Bnabil, Broumana el Metn, Bsifrine, Douar al Metn, Ed Douar, Khillet el Metn, Mar Moussa ed Douar, Masqa, Mchikha, Mtain, Majdel Tarchich, Mrouj, Qaa er Rim, Qaaqour, Qanabet Salima, Qbata el Mrouj, Zaraaoun.

Il s'agira dans un premier temps d'apprécier, au travers de l'analyse de l'état des lieux, si l'adjonction de tout ou partie du territoire de ces municipalités et villages apporterait au futur territoire durable du Haut-Metn, la cohérence indispensable pour gérer ses aspects écologiques, paysagers et de développement économique et social.

Objectifs et contenu

Le projet vise à faire bénéficier les collectivités du Haut-Metn de l'expérience de la Région Île-de-France³ dans le domaine des parcs naturels régionaux par l'accompagnement d'une démarche d'élaboration d'une charte intercommunale en vue de la création d'un territoire durable.

Pour y parvenir, la Région Île-de-France met à disposition ses techniciens, mobilise ses organismes associés et finance la réalisation d'études destinées à développer la connaissance du potentiel de développement du territoire, définir des objectifs et des orientations, et élaborer un cadre commun d'actions au niveau intercommunal. Cette initiative vise à poser les jalons de la création d'un territoire durable à travers :

- l'élaboration d'un diagnostic partagé de la région du Haut-Metn sur un territoire large qui comprend le massif du Haut-Metn et les deux vallées qui le bordent ;
- la définition commune d'objectifs de développement durable et d'orientations d'aménagement du territoire ;
- l'élaboration d'une charte intercommunale définissant les objectifs, les axes de coopération intercommunale et les moyens humains, institutionnels, matériels et financiers à partager pour la préservation et la mise en valeur du territoire concerné.

³ Il existe quatre Parcs naturels régionaux en Île-de-France, créés à l'initiative de la Région et financés par elle.

Cette démarche est encadrée au niveau local par la Fédération des Municipalités du Metn el Aala (Haut-Metn).

Afin de développer la connaissance du territoire et de faciliter les prises de décisions des élus, des études seront réalisées par des consultants locaux ou internationaux dans les domaines de la biodiversité, du paysage, de l'aménagement du territoire, des risques, des ressources naturelles, de la gestion des forêts, de l'agriculture, des pollutions et nuisances, du développement économique local ainsi que sur les aspects institutionnels et financiers.

Ce travail sera complété par une série d'actions de sensibilisation sur le thème des parcs naturels régionaux, permettant le partage d'expériences avec des acteurs engagés dans des démarches similaires au Liban et incluant notamment :

- un séminaire national de lancement du projet ;
- des séminaires de présentation et de discussion des résultats des études ;
- un voyage d'études en Île-de-France pour des élus et des cadres municipaux du Haut-Metn ;
- un colloque national pour partager les résultats de cette expérience.

Maîtrise d'ouvrage

Pour piloter ces études, la Région Île-de-France met en place un dispositif de maîtrise d'ouvrage qui comprend :

- un encadrement administratif et institutionnel placé sous la co-responsabilité du représentant de la Région Île-de-France à Beyrouth et du bureau CGLU-BTVL. Ce dernier accompagnera les élus municipaux tout au long de cette démarche pour en favoriser la compréhension, aider à la prise de décisions et faciliter les relations avec les administrations.
- un pilotage technique placé sous la responsabilité d'un chef de projet issu de l'IAU-IdF assisté d'experts issus de la Région Île-de-France, de l'IAU-IdF et des Parcs naturels régionaux d'Île-de-France.

Coordination avec d'autres organismes libanais

Afin de garantir le succès de cette démarche, l'implication d'autres organismes libanais sera sollicitée, notamment les associations environnementales et les administrations en charge d'un ou plusieurs aspects touchant à l'aménagement d'un territoire aussi vaste que la région du Haut-Metn.

Il sera demandé en particulier à ces derniers de :

- faciliter l'accès aux données et études disponibles ;
- partager les informations et assurer, quand cela est possible, une coordination, avec d'autres actions complémentaires à celle-ci ;
- favoriser la diffusion de pratiques et l'échange d'expériences autour de ce projet et d'autres initiatives similaires ;
- participer activement à une réflexion sur les possibles implications légales, administratives et financières du projet, et ce dans une optique de long terme.

CONTENU DE L'ÉTUDE

L'objet de la prestation est de réaliser le diagnostic du territoire étudié, d'identifier les grands enjeux de ce territoire, d'élaborer les orientations de développement et d'aménagement, et de rédiger la charte du territoire durable.

Objectifs et résultats attendus

L'étude consistera à :

- étudier le périmètre proposé de manière à le préciser, en fonction de critères d'identité et de richesse patrimoniale ;
- faire l'état des lieux des connaissances relatives à chaque thème (bibliographie, collecte d'études, base de données) ;
- réaliser des enquêtes et études de terrain sur les thèmes patrimoniaux, les nuisances et pollutions ainsi que les activités économiques locales spécifiques et les flux induits ;
- approfondir la réflexion sur les enjeux du territoire ;

- établir une vision de développement et d'aménagement durable du territoire ;
- définir des objectifs de développement durable ;
- élaborer une stratégie de développement et d'aménagement durable;
- rédiger une charte de territoire durable.

Le but du diagnostic est de mettre en évidence les principales potentialités et spécificités du territoire contribuant à son identité, d'être le support de valorisation économique spécifique et par ailleurs de préciser les freins et les contraintes à surmonter pour ce faire. Il s'agit aussi de vérifier la cohérence du territoire et son adéquation avec le périmètre de projet, et le cas échéant de proposer ou susciter une ouverture ou une coopération avec d'autres municipalités proches.

À l'issue du diagnostic et de l'identification des enjeux, un travail de réflexion sera mené par le bureau d'études avec le comité de pilotage et les élus de la Fédération **sur l'identification des objectifs de développement durable et les orientations d'aménagement**. Cela constituera la base de la suite du travail d'élaboration de la charte. Cela se traduira par la rédaction d'un document présentant la vision du développement durable du territoire du Haut-Metn.

Cette tâche devra s'appuyer sur une analyse prospective économique, sociale, environnementale et spatiale, fondée sur des scénarios de développement durable et d'aménagement. Cette démarche devra permettre aux élus de calibrer leurs objectifs de développement dans le cadre de la vision et de fixer leur stratégie pour les atteindre.

C'est sur la base du diagnostic, de la définition des enjeux, de l'élaboration d'une vision, de l'analyse prospective, de la définition des objectifs et de la stratégie que sera rédigée par le consultant la **Charte du territoire durable du Haut-Metn**. Ce document constituera l'acte d'engagement des partenaires pour réaliser les objectifs fixés conjointement.

Thèmes traités

Un rapport de synthèse de diagnostic et enjeux devra tirer les principaux enseignements des analyses, faire ressortir les enjeux et esquisser les premières orientations pour le développement du territoire. Ce document de synthèse soulignera les liens, les synergies et les complémentarités entre ces différents thèmes et en fera ressortir les traits principaux, qui formeront le diagnostic de territoire, sous forme « atouts – contraintes » et « enjeux et opportunités ».

Les élus se prononceront sur ce constat et ces enjeux.

Le diagnostic de territoire s'élaborera dans une logique dynamique au regard de l'évolution des dix à vingt dernières années en particulier sur les thèmes suivants :

- Structure physique du territoire
- Occupation du sol et son évolution
- Aménagement du territoire
- Urbanisation existante et future
- Grands projets d'urbanisation
- Équipements
- Infrastructures

La richesse patrimoniale du territoire et les risques, notamment :

- Sites naturels
- Paysage
- Patrimoine archéologique, architectural et urbain
- Biodiversité (faune et flore)
- Ressources en eau
- Préservation et la gestion des ressources
- Risques naturels et industriels
- Pollutions et nuisances

La dimension socio-économique, notamment :

- Population et habitat
- Équipements et infrastructures
- Développement économique et social

- Emploi, activités économiques et flux induits
- Gestion de forêts
 - Agriculture, biologique, agro-industrie et filières de commercialisation
 - Tourisme, écotourisme

L'accessibilité du territoire, les déplacements, la mobilité, notamment :

- Réseau routier
- Offre de transport
- Déplacements

Dimension institutionnelle et partenariale

- Analyse juridique et institutionnelle pour le portage et la pérennité d'un projet de territoire
- Analyse budgétaire des municipalités et de la Fédération, sur les cinq dernières années et identification de ressources financières potentielles supplémentaires.

Points importants à approfondir

Les thématiques suivantes seront approfondies afin de répondre aux questions posées et d'améliorer la connaissance du territoire sur les sujets précisés ci-après :

Le paysage et l'utilisation des sols

Une cartographie des unités paysagères, appuyée sur la géomorphologie, l'occupation du sol (en se basant sur la cartographie du mode d'occupation du sol élaborée et mis à jour récemment par le CNRS-L) sera réalisée dans un périmètre élargi (bassin versant délimité par un trait bleu des deux rivières identifiée dans la délimitation de l'étude, ci-dessus) par rapport au territoire de la Fédération du Haut-Metn, dans la mesure où les unités naturelles et paysagères ne connaissent pas les mêmes frontières que les structures administratives. Le paysage sera caractérisé dans ce qui fait son originalité, son caractère remarquable au regard du reste du pays. Les sites remarquables, sites patrimoniaux et sites sensibles seront répertoriés et les principaux points noirs paysagers seront localisés et caractérisés.

Une cartographie mise à jour de l'occupation des sols du Liban au 1/20.000^e a récemment été réalisée par le CNRS-L. Cette cartographie devra permettre au Consultant d'établir une comparaison multi dates de l'évolution de l'occupation des sols et faire ressortir ainsi les tendances à l'œuvre.

Le patrimoine culturel (architectural, urbain, archéologique et immatériel)

Des inventaires du patrimoine ont été menés dans le cadre du projet ARAL (regroupement du Haut-Metn). Mais le regroupement de municipalités ne concernait qu'une partie du territoire de l'étude. Il s'agira donc d'étendre à l'ensemble du territoire élargi ce repérage afin de pouvoir dégager les similitudes et complémentarités qui peuvent se manifester et déterminer les orientations pour leur mise en valeur. Cette identification du patrimoine comprendra le patrimoine classé et inscrit à l'Inventaire national ainsi que tous les éléments de valeur architecturale, historique, naturelle et paysagère identifiés par les experts.

La faune, la flore et les milieux naturels

Le bilan de la biodiversité du Liban réalisé en 1996 fait une synthèse générale sur le pays. Il convient, au travers d'études complémentaires de localiser les secteurs dont le patrimoine naturel est le plus remarquable (haut lieu de biodiversité, espèces remarquables), caractériser les grands écosystèmes et leur état de conservation (étages de végétation, type de biotope, etc.), afin de :

- tracer les grands traits du fonctionnement des milieux naturels (continuités écologiques, réseaux),
- mettre en évidence les spécificités principales du territoire au regard du pays, de la région bioclimatique (responsabilité dans la conservation de telle espèce ou tel milieu).

À défaut de pouvoir étudier tous les groupes d'espèces vivantes, le prestataire se concentrera vers les groupes les plus significatifs au regard des milieux présents et effectuera au moins un état de la faune vertébrée (mammifères, oiseaux, reptiles) et de la flore supérieure.

Les déchets solides

La gestion des déchets connaît de très graves déficiences avec des dépôts sauvages en pleine nature dans des secteurs sensibles (karst), de déchets parfois à risques, entraînant des pollutions des ressources en eau et des dégradations très marquantes du paysage. Un inventaire cartographique des dépôts sauvages et légaux devra être réalisé ainsi qu'une consultation auprès des municipalités sur l'organisation de la collecte et du traitement et ses difficultés afin d'aboutir à une connaissance des systèmes existants de collecte et de traitement ou entreposage des déchets et une évaluation concrète des enjeux (nature, volume des déchets...).

L'assainissement et la protection des ressources en eau

Une évaluation des réseaux de collecte existants et de leurs points de rejet dans le milieu naturel ainsi qu'une estimation des volumes d'eaux usées rejetées (avec variation saisonnière éventuelle) devrait être produite. Le prestataire identifiera les rejets spécifiques non assimilables à des eaux usées « domestiques » (eaux industrielles, rejets toxiques). Une évaluation de la sensibilité relative des eaux souterraines permettra de localiser les secteurs de plus haute sensibilité.

Le développement socio-économique local (artisanat, tourisme, services)

L'artisanat est un des supports du tourisme « durable », et participe à la formation de l'image du territoire. C'est aussi autour de cet artisanat que des labels d'origine ou de qualité peuvent être développés permettant de valoriser la production locale. Il peut concerner tant des produits manufacturés que des transformations de produits agricoles ou des spécialités gastronomiques. Un inventaire des produits spécifiques ou remarquables et des savoir-faire locaux sera accompli dans cette phase de diagnostic. L'éco-tourisme privilégie le contact avec la population, la découverte du patrimoine et le développement local. Le concept de gîtes ruraux ou de *guest-house* ou l'accueil chez l'habitant (*dhiafe*) répondent bien à ce type de préoccupation. À défaut les petites auberges de village peuvent remplir ce rôle. Un inventaire de l'équipement local en hébergement et restauration, par type, sur le territoire d'étude est à réaliser par le Consultant (localisation, capacité d'accueil, tarifs, fréquentations).

Certains circuits de randonnée existent et en particulier le Lebanon Mountain Trail (LMT) qui tangente le territoire à l'Est. D'autres opportunités existent (sentiers existants mais non balisés). Un report cartographique de l'ensemble des sentiers de promenade existants permettra d'apprécier leur répartition et distribution au regard des sites les plus intéressants à mettre en valeur.

Il sera mené une analyse de la répartition (localisation, desserte, capacités) des services sociaux (santé, éducation, culture, administration) au regard de celle des populations présentes (résidentes et saisonnières).

L'agriculture et la gestion des forêts

Si la carte d'occupation des sols nous renseigne sur la répartition spatiale des différentes cultures, la connaissance des structures locales des filières reste très méconnue. Quelles productions particulières (pignons, marrons, caroube, fruits, etc.) existent sur le territoire et quelles en sont les filières de transformation et/ou de commercialisation ? De quelle assistance technique disposent les producteurs ? Existe-t-il des variétés de produits agricoles d'origine locale ?

L'irrigation a été développée de façon très différenciée. Il existe suivant les régions des réseaux localisés d'irrigation ou des retenues collinaires particulières. Ces dernières sont très développées dans les secteurs d'altitude du territoire (Kfar Selouane, Tarchich). Leur apport au développement local sera évalué.

La gestion des forêts reste souvent très embryonnaire. Les surfaces forestières sont cependant très importantes dans le Haut-Metn. Il sera nécessaire d'évaluer les forces et faiblesses de cette gestion (conduite et protection des boisements) sur le territoire, les opportunités de valorisation du matériau bois (bois d'œuvre et bois énergie) en complément des autres produits récoltés (pignons), conflits d'usage (pâturage, promeneurs...).

Les incendies sont une des calamités récurrentes sur la région du Haut-Metn car elle joint la sécheresse estivale avec la forte sensibilité des pins à l'inflammation. Des cartes de sensibilité existent (ministères, associations). Une analyse de celles-ci sera effectuée ainsi que des mesures de protection existantes.

Les risques naturels (séisme, glissements de terrain)

D'après les différentes cartes nationales de risques naturels établies par le CNRS-L, les risques d'inondation et de glissement de terrain sont relativement faibles sur le territoire. Il peut en être un peu différemment dans le détail, en particulier pour les glissements de terrain. Les risques sismiques affectent tout le pays, et le secteur d'études est largement traversé par des failles. Il sera nécessaire de mettre en évidence les zones de risques sismiques sur le territoire et de regarder dans quelle mesure les pratiques de construction prennent en compte cet aléa. Les risques de désertification seraient aussi assez élevés. Une attention particulière sera portée sur la couverture du sol dans les secteurs les plus exposés.

Finances et institutionnel

Une analyse de la fiscalité locale, des budgets des communes (municipalités et Fédération de municipalités) devra être réalisée afin de mettre en évidence les éventuelles capacités financières, tant en terme de fonctionnement que d'investissement, en vue de prendre en charge une partie des dépenses liées à la création et à la gestion du « Territoire durable ».

Une analyse institutionnelle (textes législatifs, répartition des compétences entre les échelons nationaux, régionaux, (*mohafazat*), sub-régionaux (*cadha*) et locaux et sur l'organisation des services municipaux et de la fédération (organisation, qualification des personnels, salaires) devra être réalisée pour mettre en évidence les forces et les faiblesses des structures existantes pour piloter, créer et mettre en œuvre un territoire durable.

Cadastre, servitudes, documents d'urbanisme, projets en cours

Le Consultant fera l'état des documents d'urbanisme et cadastraux existants, des projets en cours et effectuera leur recollement pour évaluer leur cohérence et les risques de conflits d'usage : coefficients d'exploitation existants, servitudes, domaine public et privé de l'État et des collectivités locales, terrains *mouchaa*, conséquences possible en termes d'urbanisation du territoire, grand projets d'urbanisation existants (équipements, infrastructures, opérations privées)...

Énergies renouvelables

Un des rôles attribués à ce « Territoire durable », à l'instar des Parcs naturels régionaux en France, sera de jouer un rôle de pilote et d'expérimentateur dans le développement durable. Dans un contexte de dérèglement climatique, le prestataire cherchera à rassembler les éléments de diagnostic sur les potentialités du territoire et éventuellement les initiatives locales existantes en matière d'énergies renouvelables (biomasse, éolien, solaire, etc.).

Méthode

La prestation consiste à :

- réunir les données existantes, produire les principales données manquantes par des études, les analyser, identifier les enjeux du territoire, faire ressortir les orientations de développement et d'aménagement, réaliser une analyse prospective, établir une vision, fixer des objectifs et une stratégie, rédiger une charte de territoire durable. Tous les thèmes, y compris ceux qui ne seront abordés qu'au travers de documents préexistants, feront l'objet de fiches synthétisant l'état des lieux et mettant en exergue les forces et faiblesses, richesses et contraintes propres au territoire.
- réaliser une synthèse sur ces différents thèmes de manière à souligner les liens entre ces différents thèmes et de ressortir les traits principaux. Ce diagnostic est une première étape pour la mise en place d'une charte de développement durable du territoire. Les élus se prononceront sur ce diagnostic et les propositions d'orientations du consultant en vue de leur adoption. Sur cette base, le consultant proposera un programme d'actions prioritaires à mettre en œuvre, ce qui se traduira au travers d'une charte de développement, appuyée sur un plan de destination des sols.
- faire des propositions qui seront discutées en comité de pilotage ainsi qu'avec les élus de la Fédération en matière d'objectifs de développement durable et d'orientations d'aménagement spatial.

Ces propositions seront basées sur une analyse prospective (économique, démographique et spatiale) et des trois ou quatre scénarios de développement et d'aménagement durable permettant de dégager une vision du développement et de l'aménagement du territoire du Haut-Metn et de fixer des objectifs environnementaux, sociaux et culturels. Des principes d'aménagement spatial seront précisés sous forme de schémas d'aménagement. Des principes de gestion du territoire seront envisagés aux niveaux institutionnel et financier.

La méthode doit également être participative. Elle doit permettre l'écoute des principaux acteurs qui seront impliqués dans l'application de la charte de territoire du Haut-Metn (les élus, les institutions, les socioprofessionnels, les associations et ONG, les habitants...).

Il appartient au candidat d'exposer en détail les méthodes qu'il utilisera, en décomposant dans son offre de prestations, les tâches opérées (recueil de données existantes, études de terrain, rencontre d'acteurs concernés, analyse de données...), leurs objectifs respectifs, les moyens utilisés, notamment dans le cadre de la concertation avec les acteurs du territoire, les documents fournis au maître d'ouvrage de l'étude à la fin ou au début de chaque tâche.

Étapes et durée de la prestation

Durée de la prestation : 20 mois répartis de la façon suivante :

Phase 1 – Collecte et analyses de données, diagnostic et enjeux

- Recueil de la documentation (données, cartographie, ouvrages, rapports)
- Enquêtes de terrain
- Interviews
- Rédaction des rapports d'analyses sur les thèmes suivants :
 - Aménagement du territoire (agriculture, paysages, urbanisation, centralités, infrastructures)
 - Cadastre et urbanisme (règlements, servitudes, équipements, lotissements)

- Environnement : paysages, ressources naturelles, risques, pollutions/ nuisances
- Développement économique (production, services)
- Social (démographie, santé, éducation, culture, services à la population)
- Finances, cadre législatif et institutionnel

Phase 2 – Propositions d’objectifs de développement durable et orientations d’aménagement spatial

Objectifs de développement durable

- Éléments de prospective démographique, emplois, activité
- Scénarios alternatifs de développement durable
- Objectif de protection et de mise en valeur du patrimoine paysager, naturel, architectural, archéologique et urbain
- Objectif de développement économique
- Objectif de solidarité sociale

Orientations d’aménagement spatial

- Éléments de prospective d’aménagement spatial
- Scénarios alternatifs d’aménagement du territoire
- Principes de développement et d’aménagement spatial (Vision)
- Objectifs et stratégie de développement et d’aménagement durable
- Principes sur le mode de gestion du territoire (institutionnel, financier, gestion)

Phase 3 – Charte de territoire durable

Ce travail est réalisé en concertation étroite avec l’ensemble des municipalités et des acteurs du territoire sous la forme de commissions thématiques (thèmes à définir au regard des enjeux identifiés) réunissant les acteurs du territoire à deux ou trois reprises.

Rédaction de la charte de territoire durable. Ce document comprendra les éléments suivants :

- Rapport de présentation présentant :
 - les principaux éléments issus du diagnostic, des enjeux
 - la vision sur le territoire et la stratégie
 - les objectifs de développement durable et les mesures à mettre en œuvre
 - un programme d'actions hiérarchisant les priorités
 - le mode de gestion
- Plan d'aménagement et de protection du territoire durable au 1/20.000
- Statut de l'organisme de gestion du territoire durable
- Acte d'engagement des partenaires

Sensibilisation et concertation

L'élaboration du Diagnostic du « Territoire durable » sera ponctuée d'actions de sensibilisation, en direction soit des équipes municipales de la Fédération soit d'un public plus large de professionnels, pour animer et faire vivre le projet. Elles auront pour objectif de partager les savoir-faire, diffuser une culture commune, coordonner les interventions, renforcer les niveaux d'expertise, diffuser la documentation opérationnelle et technique, informer sur l'avancement du projet et des réalisations et favoriser l'appropriation de la démarche de « Territoire durable » par l'ensemble des acteurs de la ville (élus, institutionnels, associatifs, professionnels, etc.).

Seront ainsi organisés :

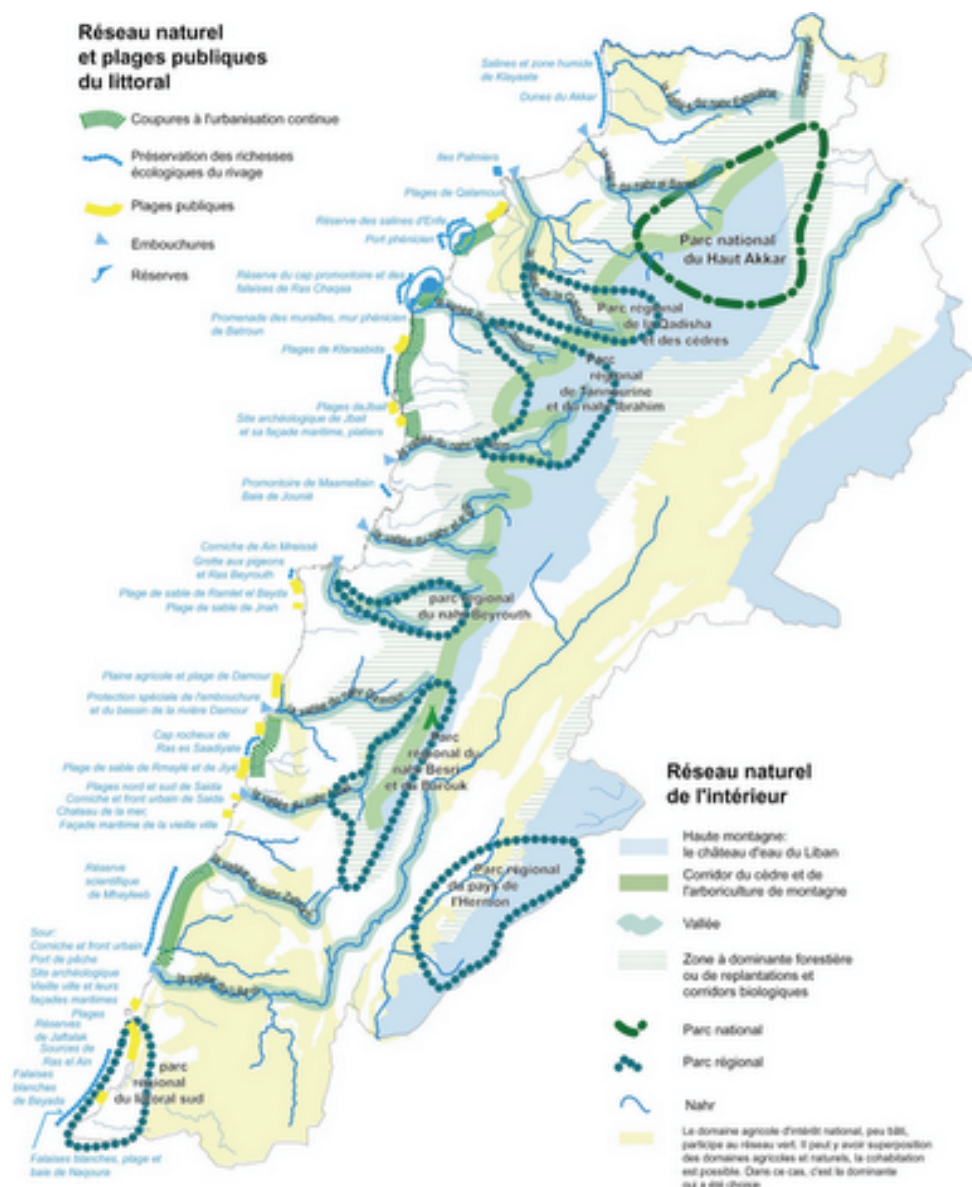
Des séminaires internes à la Fédération

Trois séminaires, d'une journée chacun, seront organisés et animés par la maîtrise d'ouvrage en direction des services techniques et des élus des municipalités de la Fédération. Ces séminaires se dérouleront préalablement à la validation de chacune des phases clés d'élaboration du PNR (Diagnostic, Orientations, Charte). Présentant des résultats et organisant des débats, ils devront permettre aux acteurs municipaux de s'approprier la démarche de « Territoire durable » et de devenir des vecteurs de communication auprès des autres acteurs du territoire.

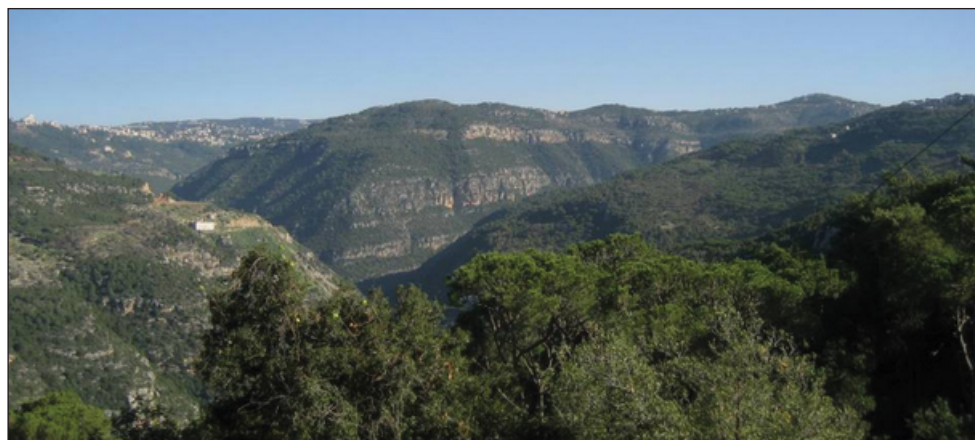
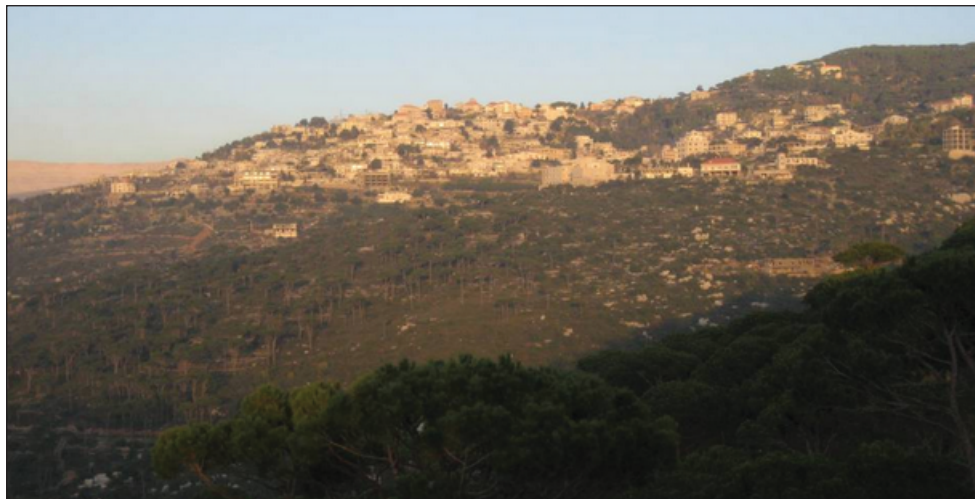
Des rencontres techniques

Trois rencontres techniques d'une journée chacune seront organisées et animées par la maîtrise d'ouvrage, une à l'issue de la validation de chacune des phases (Diagnostic, Orientations, Charte), sous forme d'ateliers thématiques. Elles comporteront également des visites de sites. Ouvertes à un public de professionnels (agronomes, ingénieurs forestiers, paysagistes, architectes, urbanistes, services techniques d'administrations, associations spécialisées dans les questions environnementales, etc.), ces rencontres devront contribuer à développer une culture technique commune. Elles seront également l'occasion de compléter l'approche locale par la présentation d'expériences étrangères en matière de schéma directeur pouvant être appliqué à ce « Territoire durable ».

Ces séminaires et rencontres techniques pourront, suivant les thèmes abordés, faire intervenir d'autres acteurs afin de valoriser différents savoir-faire et outils déjà existants.







ÉNERGIES RENOUVELABLES

AMÉLIORATION DE L'EFFICACITÉ DE L'ÉNERGIE SOLAIRE

Ahmed ABU HANIEH

RÉSUMÉ

Ce travail porte sur l'importance de l'énergie solaire en Palestine. Il se concentre sur la nécessité d'augmenter l'utilisation et l'efficacité des panneaux photovoltaïques, en utilisant plusieurs techniques actives et passives. Ces techniques incluent les moteurs de DC, l'utilisation des systèmes pneumatiques et hydrauliques, ainsi qu'un mécanisme de positionnement via un actionneur à paraffine afin d'optimiser l'orientation du panneau en fonction du positionnement du soleil.

INTRODUCTION

L'énergie solaire a toujours été utilisée que ce soit pour le séchage des aliments ou pour le chauffage de l'eau. Bien que les autres sources conventionnelles d'énergie comme le charbon et le pétrole soient largement utilisées pour leur contenu riche d'énergie, celles-ci sont considérées comme sources principales de pollution de l'environnement, raison pour laquelle les recherches tentent d'optimiser l'utilisation des énergies renouvelables comme l'hydroélectricité, l'énergie éolienne et l'énergie solaire. L'énergie solaire peut être considérée comme la ressource la plus propre car elle utilise principalement l'énergie du soleil pour produire de l'électricité utilisable pour plusieurs applications possibles (MCVEIGH 1983). En Palestine, plusieurs associations, telles que l'Association Palestinienne pour l'Énergie Solaire et Viable, se sont créées pour sensibiliser la population à l'utilisation de l'énergie solaire. Cette association a mis en œuvre un grand projet pour l'éclairage d'une rue peu sûre et sombre surnommée « *Wadi Annar* » grâce à un fonds de 300 000 Euros. L'objectif de ce projet était de n'utiliser que des panneaux solaire photovoltaïques. L'Université de Birzeit a mené

plusieurs projets sur l'énergie solaire dont une étude sur l'optimisation de l'orientation des panneaux solaire photovoltaïques en Palestine.

CONCEPTION ET MÉCANISMES

Le panneau photovoltaïque (PV) utilisé dans l'Université de Birzeit est illustré dans la figure 1. On sait que l'énergie captée par les panneaux solaire photovoltaïques (PV) est basse comparée aux autres sources d'énergie.



Figure 1 - Panneau de PV utilisé dans l'Université de Birzeit

D'où la nécessité d'augmenter l'efficacité de ces systèmes en utilisant en permanence la perpendicularité des rayons du soleil à la surface des panneaux PV, et ce pendant toute une journée. Ceci est possible en utilisant un système d'orientation automatique qui maintient les panneaux en direction du soleil (MUKIND 1999).

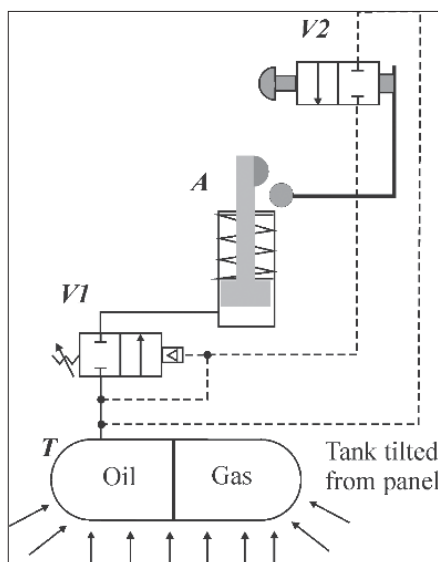


Figure 2 - Système pneumatique / hydraulique

Les collecteurs solaires servant de chauffe-eau sont majoritairement installés là où il n'y a pas de source d'électricité (SORENSEN 1983, MINESTER OF NATURAL RSOURCES OF CANADA 2005, PALESTINIAN MINESTRY OF LOCAL GOVERNMENT 2004). Les disposer perpendiculairement au soleil augmente leur efficacité et leur production. L'effet mécanique (le pouvoir fluide) de ce système est dû à la pression d'un gaz comprimé dans un tube cylindrique, qui actionne l'huile hydraulique. L'expansion thermique du gaz augmente sa pression qui s'exerce sur l'huile, transmettant ainsi la puissance au piston actionnant le panneau. Le système peut être vu dans la Figure 2.

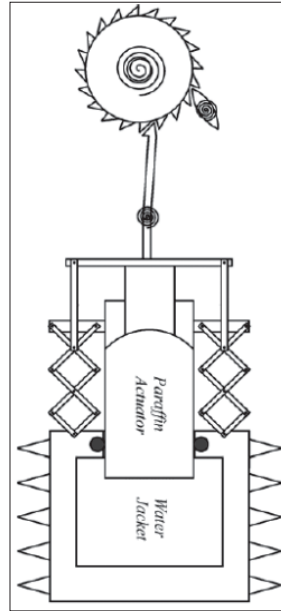


Figure 3 - Actionneur de paraffine

Une autre technique passive peut être utilisée pour l'orientation de panneaux, c'est le mécanisme de positionnement à paraffine pour les collecteurs servant de chauffe-eau ou utilisés pour le séchage des aliments. Le processus se fait sans électricité. La Figure 3 ci-dessus montre un mécanisme de positionnement à paraffine avec une cuve d'eau de refroidissement. Ces mécanismes de positionnement utilisent de la paraffine comme substance actionnante parce qu'elle fond à 42-55 degrés et se dilate d'environ 10 % à 20 % en passant du solide à la phase liquide. Le mécanisme de positionnement est incliné de 15 degrés par rapport au panneau situé dans le foyer du réflecteur solaire parabolique pour concentrer des rayons solaires.

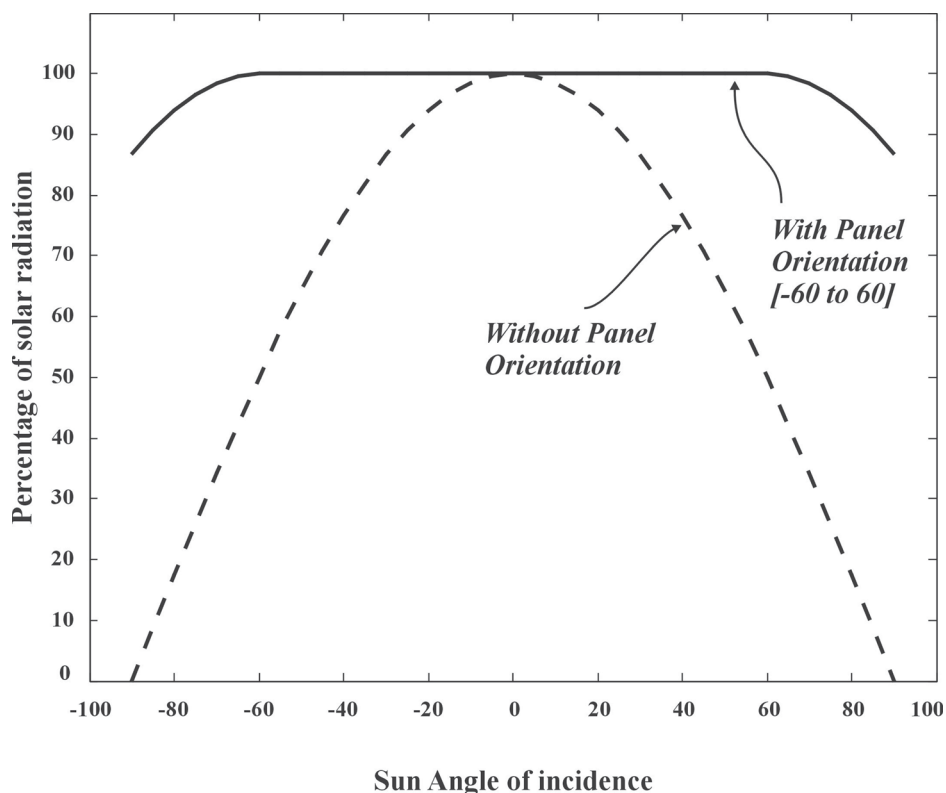


Figure 4 - La comparaison d'énergie

La figure 4 montre une comparaison entre le pourcentage d'énergie solaire obtenu, sans faire fonctionner le système traquant (ligne pointillée) et en appliquant le système traquant entre -60 degrés le matin et +60 degrés l'après-midi (ligne solide). La différence d'énergie solaire obtenue dépasse 40 % ce qui est significatif. D'autre part, notons que c'est la variation de l'angle Azimut (horizontal) qui a le plus fort impact sur le processus d'orientation. L'angle d'altitude (vertical) a quant à lui un impact moindre.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Mcveigh, J. 1983: Sun Power, 2nd ed., Pergamon Press.
- [2] Mukind, P. 1999: "Wind and Solar Power Systems", New York, Merchant Marine Academy Kings Point.
- [3] Sorensen, H. 1983: Energy Conversion Systems, John Wiley & Sons.
- [4] Minister of Natural Resources of Canada, 2005: Clean Energy Project Analysis.
- [5] Palestinian Ministry of Local Government, 2004: Guidelines for Energy Efficient Building Design, Bailasan.

DROIT ET ÉCONOMIE DE L'ENVIRONNEMENT

ÉVOLUTION ET ÉVALUATION DU DROIT DE L'ENVIRONNEMENT EN SYRIE

Hiba CHAKAR

INTRODUCTION À LA SITUATION ENVIRONNEMENTALE EN SYRIE

La question environnementale est aujourd'hui l'une des préoccupations principales du gouvernement syrien. Déjà en 2004, un rapport de la Banque Mondiale estimait le coût de la détérioration de la situation environnementale en Syrie à 3,3 % du PIB, soit plus de 800 M USD. Ce chiffre est une fois et demi plus élevé que celui des pays à haut revenu. La pression exercée par une croissance démographique forte entraîne un phénomène d'urbanisation accéléré et une migration des régions rurales vers les centres urbains, traduite souvent par l'extension illégale des zones résidentielles. Entre 1950 et 2007, la population en Syrie a été multipliée par 6, passant de 3,5 à 21 millions d'habitants. La population urbaine représente 51 % de la population totale et la croissance démographique est de 2 %¹. Ainsi, pour répondre à ces besoins en développement, une expansion économique et un changement dans les profils de consommation se sont traduits par davantage d'activités industrielles, parfois illégales. Les politiques publiques, élaborées depuis soixante ans, étaient uniquement centrées sur la croissance économique du pays, l'industrialisation rapide, le développement des activités commerciales et sociales correspondantes.

En effet, les défis environnementaux majeurs auxquels la Syrie doit faire face se traduisent par plusieurs aspects. Il s'agit des problèmes d'épuisement comme : la dégradation des sols, la perte de la biodiversité, et notamment la pénurie d'eau que la Syrie connaît depuis quelques années. L'approvisionnement en eau potable, des zones urbaines et rurales, est devenu une question clé actuellement et représente un vrai défi à long terme. Certaines régions du pays souffrent à différentes périodes de l'année

¹ Chiffres tirés du recensement du bureau central des statistiques en Syrie, 2008.

du manque d'eau et doivent faire face à des coupures. Le ratio « volume d'eau disponible par habitant » dépasse légèrement 700 m³ par an mais il peut baisser à moins de 600 pendant les années de sécheresse, alors que la référence internationale retenue comme seuil de pauvreté est de 1.000 m³ par an et par habitant². Plus de 90 % de l'eau utilisée est destinée à des fins agricoles, alors que le reste est destiné à la consommation humaine et industrielle. Le système actuel d'utilisation représente un risque croissant pour la diminution des réserves, tout en entraînant des retombées négatives pour l'environnement et le développement durable. Pour répondre à cet accroissement de la demande en eau, les centres urbains comptent sur les puits existants, dont la qualité est insuffisante. Par ailleurs, la Syrie a recours depuis le milieu des années quatre-vingt-dix au traitement des eaux usées. Mais les infrastructures sont largement insuffisantes. Le pays ne dispose que de sept stations d'épuration, quatre dans les principales villes et trois en milieu rural, qui desservent 35 % de la population. Seul 30 % des eaux usées subit un traitement³, le reste étant directement utilisé à des fins d'irrigation. Ainsi le problème d'eau ne fait que s'aggraver, il ne se limite pas à la baisse des réserves. Il se transforme aussi en problèmes de pollution croissante des ressources en eau par les eaux usées. Les programmes de suivi ont démontré que les eaux de surfaces et la nappe phréatique sont contaminées à plusieurs endroits par les eaux usées urbaines et industrielles. Il existe donc un risque important d'apparition de maladies véhiculées par l'eau et de répercussions négatives pour l'environnement.

La qualité de l'air n'est pas épargnée, la pollution atmosphérique est un problème majeur en Syrie surtout dans les régions à forte densité de population. La circulation automobile est la source principale de cette pollution. Les véhicules, y compris ceux des transports publics, sont souvent mal entretenus, le carburant utilisé est de mauvaise qualité. L'industrie contribue également d'une manière considérable à la pollution de l'air et aux émissions de gaz. Parmi les grands pollueurs atmosphériques figurent les industries du pétrole, du ciment. En 2004, un rapport de la Banque Mondiale indique que la pollution de l'air en milieu urbain en Syrie causerait la mort prématurée de 3 500 personnes par an et le coût économique annuel des dégâts causés par la pollution atmosphérique, sur la santé et sur

2 Bureau central des statistiques en Syrie, 2010.

3 Bureau central des statistiques en Syrie, 2010.

la productivité agricole, serait de 1,27 % du PIB, soit plus de 310 M USD.

Néanmoins, l'action publique n'a pas été suffisamment à la hauteur des défis environnementaux qui continuent à se multiplier. Certains problèmes résultent de la gestion inadéquate. Nous citons comme exemple le traitement des déchets en Syrie qui se révèle délicat du fait de la faible sensibilisation de la population aux problèmes environnementaux, de l'absence de tri et des difficultés de financement. Ainsi, dans toutes les villes syriennes, à l'exception de Damas et Alep, toutes sortes de déchets tant industriels que ménagers sont stockés dans des décharges à ciel ouvert sans réelle protection des sols. L'incinération des déchets en plein air est une pratique courante en Syrie. Certaines grandes villes procèdent de temps à autre au recouvrement de leurs piles d'ordures par des couches intermédiaires de terre, dans un souci d'amélioration des normes environnementales.

L'ÉMERGENCE DU DROIT DE L'ENVIRONNEMENT EN SYRIE

Toutes les réponses que la Syrie doit apporter à ses défis environnementaux, concernant la compréhension, la protection, l'utilisation, la gestion ou la restauration de l'environnement sous toutes ses formes, incitent et impliquent certainement des démarches institutionnelles et juridiques qui leurs permettront d'être mises en place. Ce qu'on appelle dans la culture moderne le droit de l'environnement. La reconnaissance de l'intérêt de faire émerger un « droit de l'environnement » en Syrie remonte aux années quatre-vingt-dix avec la création du Ministère d'État des Affaires Environnementales, le premier au niveau des pays arabes, ainsi qu'avec la ratification d'un certain nombre de conventions internationales et régionales comme le protocole de Kyoto en 2005 et la convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification en 1997. La volonté du gouvernement syrien de faire avancer le droit de l'environnement s'est traduite par le renforcement de la capacité institutionnelle sur l'environnement, inséparable du cadre juridique et législatif concerné.

L'HIÉRARCHIE INSTITUTIONNELLE DE L'ENVIRONNEMENT

Les institutions environnementales en Syrie peuvent considérer la loi-cadre sur l'environnement N°50 de 2002⁴ comme une date charnière pour leur organisation actuelle. Cette loi a envisagé une articulation du cadre institutionnel pour l'environnement sur trois niveaux. Les deux premiers couvrent l'échelle nationale tandis que le troisième concerne le niveau local de la hiérarchie institutionnelle de l'environnement.

Le premier niveau est celui du Conseil pour la Sécurité Environnementale et le Développement Durable CSEDD, présidé par le Premier ministre, il remplace l'ancien conseil pour la sécurité qui remonte à l'année 1991, avec plus d'autonomie administrative et financière. Le CSEDD travaille de manière transversale, en se composant de 17 ministères, de la Commission nationale de planification, d'un certain nombre d'organisations civiles et de chambres de commerce et de l'industrie. Il est considéré comme l'instance supérieure, chargée de la mise en place de politiques environnementales et de la coordination des activités de gestion environnementale en Syrie.

Le deuxième niveau est celui du Ministère d'État des Affaires Environnementales MEAE, établi pour la première fois en 1991, puis fusionné avec le Ministère de l'Administration Locale, puis relancé séparément en 2003. Ce changement de dénomination et de compétence est considéré par le gouvernement syrien comme un signe pour exprimer l'intérêt et l'importance qu'accorde l'État aux questions environnementales. Le MEAE est chargé de la réglementation et de la recherche, tout en étant responsable de l'élaboration de la politique environnementale, du suivi de la mise en œuvre de la législation environnementale, et de la coordination intersectorielle. En vue de remplir ses engagements, le MEAE opère à travers deux agences exécutives : d'un côté, le Conseil Général pour les Affaires Environnementales CGAE, qui représente la branche technique du ministère. Il est chargé d'apporter le cadre législatif et le soutien nécessaires à la gestion environnementale, notamment les réglementations, les normes et les lignes directrices, et d'apporter des conseils d'ordre politique et technique aux niveaux central et local. De l'autre côté, le Centre de

4 La loi N°50 de 2002 dite la loi environnementale.

Recherche Scientifique et Environnementale CRSE représente la branche de la recherche du ministère. Il est le centre national des études et de la recherche scientifique et environnementale. Son mandat prévoit aussi la coordination avec les organisations de recherche internationales.

Au troisième niveau de la hiérarchie, des Comités Locaux pour l'Environnement CLE ont été établis dans chacune des *Mohafazats*⁵. Ils sont commissionnés par les gouvernorats pour identifier les problèmes locaux en matière d'environnement. Les Directions Générales de l'Environnement DGE sont, quant à elles, chargées de la mise en œuvre et de l'application des politiques environnementales sur le plan local.

Ainsi, les instances gouvernementales représentent l'acteur principal en matière d'environnement en Syrie. Cependant d'autres interlocuteurs interviennent dans ce domaine. Il s'agit notamment des organisations internationales, tels que le PNUD et la FAO qui apportent l'expérience à la Syrie par leur participation aux projets pilotes sur l'environnement.

Les ONG locales et nationales commencent également à s'investir en Syrie dans de nombreux champs comme celui de l'environnement, dans le cadre de la nouvelle politique de l'État voulue depuis 2000 pour renforcer la participation des citoyens. Néanmoins, le rôle des ONG se limite aux activités liées à la sensibilisation environnementale des habitants. Il existe actuellement en Syrie 12 ONG qui s'intéressent à l'environnement dont 85 % localisées dans les villes notamment Damas et Alep qui regroupent 60 % des ONG. L'Association Environnementale Syrienne AES, établie en août 2001, est l'ONG la plus connue, son objectif est de mettre en place, en coopération avec le gouvernement, une stratégie nationale pour la protection de l'environnement et de promulguer des lois qui permettront d'étendre cette protection. Par ailleurs, elle a pour mission de sensibiliser davantage le public sur les questions environnementales et de façonner une attitude positive face au patrimoine du pays. Comme le projet annuel de travail au sein des écoles que l'AES a mis en place, depuis sa fondation, pour sensibiliser les enfants au sujet de l'environnement.

5 Mot arabe, couramment utilisé, signifiant la région.

L'ENVIRONNEMENT : DE LA POLITIQUE AU CADRE JURIDIQUE

La législation environnementale se trouve encore dans une étape initiale en Syrie, malgré l'établissement de la plupart des institutions nécessaires pour la gestion environnementale, celles-ci n'ont toujours pas la capacité d'opérer de manière fructueuse. Pour un nouveau décollage, le gouvernement syrien a lancé, dans les dix dernières années, une nouvelle politique qui intègre le développement durable en reliant économie, société et environnement. Ainsi, l'environnement s'est vu accordé plus d'importance dans les 9^e et 10^e plans de développement quinquennal. Cela s'est traduit par une allocation budgétaire importante pour la mise en œuvre des projets environnementaux⁶ mais aussi par de nombreux textes officiels, stratégiques et législatifs, que nous allons développer.

STRATÉGIES ET PLANS NATIONAUX

La stratégie nationale pour la biodiversité, a été élaborée en 2000 par le Ministère d'État des Affaires Environnementales MEAE, comme une réponse à l'engagement de la Syrie à la convention sur la diversité biologique, ratifiée en 1995. La stratégie vise à intégrer les principes de l'environnement et du développement durable dans les divers politiques et plans nationaux. L'un des objectifs de cette stratégie est de réformer les textes législatifs déjà existants sur ce domaine comme : le décret N°152 de 1970 organisant la chasse, la loi N°66 de 1953 sur la protection des forêts, la loi N°30 de 1964 sur la protection de la vie aquatique, le décret N°2145 de 1971 sur l'exploitation de l'eau. Ces textes élaborés avant la création du MEAE, par d'autres institutions comme le Ministère de l'Irrigation et le Ministère de l'Agriculture et de la Réforme Agraire, ont besoin d'être mis à jour, mis en œuvre ou supprimés et remplacés par de nouveaux textes adéquats aux exigences environnementales actuelles du pays.

6 Par exemple, dans le cadre du X^e Plan quinquennal (2006-2010), le gouvernement a alloué 100 Md SYP (2,17 Md USD), montant sans précédent, aux objectifs environnementaux.

Le plan national pour la lutte contre la désertification, élaboré en 2002 par le MEAE⁷, avec le soutien du PNUD. Ce plan pose les principes d'une stratégie globale pour l'eau. Cependant sa mise en œuvre souffre de certaines difficultés. Une mauvaise gestion des ressources causée par des structures de responsabilité opaques, intervention de quatre ministères : Habitat et Construction, Irrigation, Agriculture, Administration locale et Environnement, et de l'absence de coordination entre eux.

La stratégie et le plan national d'action sur l'environnement, adoptés en 2003 par le Ministère d'État des Affaires Environnementales MEAE en collaboration avec d'autres ministères compétents. La stratégie vise à intégrer les principes de la protection de l'environnement et du développement durable. Le Plan National d'Action sur l'Environnement PNAE pour les dix prochaines années propose, quant à lui, plusieurs plans secondaires et des programmes d'action visant à un développement durable général en Syrie. Les actions du PNAE se concentrent autour de cinq domaines prioritaires : l'usage durable des ressources en terres et en eau, l'amélioration de la qualité de vie dans les régions urbaines, la protection des ressources naturelles et culturelles. Le plan couvre les questions habituelles, telles que le cadre institutionnel et les aspects économiques liés à l'environnement. Les investissements proposés dans le PNAE, fondés, pour la première fois, sur les priorités environnementales. L'efficacité de la stratégie et le plan national d'action sur l'environnement connaissent certains obstacles. D'une part, l'absence des plans d'actions sectoriels a rendu l'application du PNAE très difficile au niveau local. D'autre part, l'évaluation auprès du gouvernement est infaisable en l'absence d'un calendrier précis pour sa mise en œuvre. La stratégie nationale du développement durable, élaborée en 2007, représente un passage important pour la Syrie de la protection de l'environnement au développement durable. Dans l'objectif de cette stratégie, tous les acteurs, publics et privés, centraux ou locaux, doivent intégrer le développement durable dans leur prise de décision ainsi que dans leurs modalités de fonctionnement interne. Nous citons l'agenda 21 comme l'un des fruits de cette stratégie. Alep et Homs ont conduit les agendas 21 pilotes dans le pays.

7 À l'époque, Ministère de l'Environnement et de l'Administration Locale, comme nous l'avons expliqué précédemment.

TEXTES LÉGISLATIFS SUR L'ENVIRONNEMENT

La législation sur l'environnement reste toujours insuffisante en Syrie, la loi-cadre sur l'environnement N°50 de 2002 tire son importance du fait qu'elle est le premier texte ayant valeur de loi qui aborde les problématiques environnementales. Elle représente un premier acte dans le passage à un droit « mur » qui impose des obligations juridiques et non seulement des normes de comportement recommandées aux acteurs du droit. D'une part, elle prend certaines dispositions et taxes sur le bruit, les déchets, les émissions pour tous les établissements économiques, industriels, touristiques, etc.; d'autre part, elle réforme les institutions notamment au niveau national comme on l'a vu précédemment, elle précise les compétences du CSEDD et CGAE mais reste cependant muette sur celles des DGE et CLE.

La loi N°49 de 2004 établit, quant à elle, des règles pour la collecte des déchets, pour leur transfert et leur traitement. Bien que les deux textes précédents introduisent certains principes de l'environnement comme celui de la responsabilité environnementale et le principe « pollueur-payeur » par une « taxe pollueur ». Les législateurs syriens restent cependant non déterminants sur plusieurs principes fondamentaux de l'environnement et du développement durable, comme le principe de précaution et la compensation écologique.

PLUSIEURS LACUNES DIAGNOSTIQUÉES

Le gouvernement syrien se veut ambitieux par sa campagne de réorganisation institutionnelle et juridique en matière d'environnement et de développement durable. Néanmoins, les résultats ne sont pas encore importants. Les raisons sont multiples, les problèmes de gouvernance qui concernent l'ensemble des institutions syriennes pèsent également au niveau environnemental. Nous distinguons d'une part, le manque de coopération horizontale et le chevauchement ambigu dans le partage des compétences entre les acteurs. Comme le cas des ministères gérant l'eau⁸. La mauvaise articulation des 4 ministères : Habitat et Construction,

8 En ce qui concerne le secteur de l'eau en Syrie, il est administré par un nombre de

Environnement, Irrigation, Agriculture et Réforme Agraire, rend leur intervention infructueuse. D'autre part, nous citons la faible coopération verticale, la forte centralité administrative et le peu de marge accordée aux pouvoirs locaux dans la prise de décision. Le problème des déchets solides qui s'aggrave en Syrie, montre clairement la mauvaise collaboration entre les échelons administratifs concernés : Ministère d'État des Affaires Environnementales, Ministère de l'Administration Locale, *Mohafazats*, municipalité, administrations locales au sein des municipalités et des *Mohafazats*⁹.

D'autres obstacles ont été également diagnostiqués. Il s'agit surtout des ressources financières limitées, appuyées souvent sur les dons et les aides des organisations internationales. L'établissement d'une caisse de la préservation de l'environnement par la loi N°50 de 2002 vise à accorder une certaine autonomie financière aux affaires environnementales.

De surcroît, certaines exigences de l'environnement et du développement durable sont absentes du discours officiel, en particulier

ministères et d'établissements. Ces ministères sont tous représentés dans le Comité supérieur pour l'eau, présidé par le Premier ministre. Le ministère de l'irrigation et ses directions sont chargés de la gestion et du développement des ressources en eau, du suivi régulier de la qualité des eaux de surface et de la nappe phréatique, ainsi que de la garantie de la disponibilité de ressources en eau à des fins d'irrigation. Il est également responsable du contrôle des puits forés et de l'autorisation de forage de nouveaux puits. Le ministère de l'habitat et de la construction est chargé des réseaux de distribution de l'eau potable dans les régions urbaines et rurales, ainsi que du traitement des eaux usées domestiques. Le ministère de l'Environnement est responsable du suivi et du contrôle de la qualité de l'eau, de même que de l'élaboration des normes nationales en matière de protection des ressources en eau. Le ministère de l'Agriculture et de la Réforme agraire est chargé des utilisations économiques de l'eau à des fins d'irrigation.

9 Concernant les déchets solides, chaque *Mohafazat* est responsable de planifier et mettre en œuvre des stratégies régionales de gestion des déchets solides, alors que les municipalités sont chargées de l'ensemble des activités de gestion de ces déchets, notamment la gestion et les opérations quotidiennes, la collecte de charges et de taxes, et l'engagement de services par le secteur privé. En tant qu'autorité compétente, le Ministère de l'Administration Locale participe aussi, de manière indirecte, en supervisant les activités municipales. La mise en œuvre et l'application de la loi sur l'environnement, de même que l'élaboration de stratégies nationales pour la gestion des déchets, sont du ressort du ministère de l'Environnement. La collecte des déchets solides urbains et leur transport jusqu'aux décharges définitives sont de la responsabilité des unités administratives qui opèrent au sein des municipalités et des *Mohafazats*.

celles relatives à l'urbanisme et l'aménagement du territoire, comme la protection des terrains agricoles, la lutte contre l'étalement urbain, et les transports. La loi N°26 de 2010 relative à la planification régionale vise à intégrer l'environnement et le développement durable dans toutes les questions relatives à l'urbanisation mais toujours sans outils exécutifs d'application et de mise en œuvre. Le manque de cadres compétents dans les domaines liés à l'environnement, ainsi que le manque des données et de statistiques concernées sont également comptés parmi les lacunes à combler.

CONCLUSION

Les règles juridiques sur l'environnement se trouvent encore dans une étape initiale en Syrie. Nous ne pouvons pas parler d'un droit de l'environnement bien cadré et matérialisé jusqu'au point d'avoir un code de l'environnement comme c'est le cas dans certains pays. Les démarches de la Syrie vers un droit de l'environnement sont encore insuffisantes, une confusion existe entre la simple protection de l'environnement et le développement durable sous tous ses aspects, économiques, sociaux et environnementaux. Ainsi, pour renforcer l'émergence de son « droit de l'environnement » la Syrie doit se concentrer sur plusieurs axes : il s'agit en particulier d'assurer les ressources financières suffisantes accordées aux questions environnementales, de moderniser et d'établir les législations sur plusieurs domaines prioritaires : le littoral, l'eau, la pêche, la chasse, l'urbanisation et surtout il faut mettre l'accent sur l'évaluation et le suivi de l'efficacité des législations dans le but d'arriver à une juridiction spécialisée pour assurer l'application des lois.

BIBLIOGRAPHIE

BAROUT, Jamal, (dir.), 2007 : Rapport national-Syrie 2025, (en arabe), le Comité Suprême de la Planification Nationale en Syrie en coopération avec le Programme des Nations Unies pour le Développement, Damas.

CLERC, Denis, CHALON, Claude, MAGNIN, Gérard, VOUILLOT, Hervé, 2008 : Pour un nouvel urbanisme : La ville au cœur du développement durable, Yves Michel.

DAMON, Julien, (dir), 2010 : Villes à vivre, modes de vie urbaine et défis environnementaux, Paris, Odile Jacob.

ESCWA, 2003: Governance for sustainable development in the Arab region.

LAZZERI, Yvette, MOUSTIER, Emmanuelle, 2010 : Développement durable dans l'espace méditerranéen : une gouvernance à inventer, L'Harmattan.

PNUD, 2005 : Deuxième rapport national des objectifs du millénaire pour le développement (OMD) dans la république arabe syrienne.

SITOGRAPHIE

Ministère de l'Administration Locale en Syrie : www.mla-sy.org

Comité Suprême de la Planification Nationale : www.planning.gov.sy

L'ÉCONOMIE DE L'ENVIRONNEMENT, UNE SCIENCE ENCORE PEU DÉVELOPPÉE DANS LES PAYS DU MACHREK

Charles ABDALLAH

L'économie de l'Environnement est née il y a peu :

- 50 ans tout juste ont passé depuis l'article fondateur de Ronald COASE sur les externalités, ces avantages indirects générés par la production et la consommation pour lesquels nous ne payons rien ou ces nuisances indirectes pour lesquelles nous ne sommes pas compensés car ils échappent, tout simplement, aux lois du marché,
- 40 ans tout juste depuis l'article fondateur du couple MEADOWS pour le Club de Rome intitulé « Les limites de la croissance »,
- 20 ans depuis que deux prix Nobel d'économie, Robert SOLOW et Kenneth ARROW, se sont penchés sur la valeur des compensations à accorder aux habitants de l'Alaska à la suite de l'échouage du pétrolier Exxon VALDEZ en 1989,
- 10 ans que, pour la première fois, un pays comme la France tente de donner une valeur aux dégâts causés par l'émission, en France, d'une tonne de CO₂,
- 5 ans enfin que le gouvernement du Royaume-Uni confiait à Nicholas STERN la tâche de donner une valeur actualisée à l'ensemble des dégâts que vont générer, pour la planète entière, les phénomènes liés au changement climatique.

Ces dates disent à la fois que l'économie de l'Environnement est une science récente mais aussi qu'elle est une science qui se développe vite et dans de nombreuses directions. Ensemble, celles-ci doivent, en fin de compte, permettre d'atteindre une gestion optimale des ressources naturelles de la planète.

Le mot « optimal » est essentiel puisqu'il ne s'agit pas d'interdire toute exploitation des ressources naturelles, ce que préconisaient dans les années 70 certains tenants d'une ligne « dure », ni de se résigner en se disant qu'au fond les mécanismes du marché tels qu'on les connaît depuis le 19^e siècle aboutissent à substituer à une forme de capital telle que les ressources naturelles une autre forme de capital représentée par les infrastructures et les superstructures de la société contemporaine, notamment ces formes de capital humain que sont l'éducation et la santé. Non, il s'agit de trouver des *optima*, ce qui introduit déjà des éléments de calcul, mais également des *optima* qui soient compatibles avec des seuils en dessous desquels le bien-être humain est difficilement envisageable. Imagine-t-on une société épanouie sans un minimum de verdure, d'air propre ou de lumière ?

Mais comment évaluer, pour commencer par un exemple simple, les dégâts environnementaux causés par une route qui détériore un paysage connu et qui attire les pique-niqueurs ? Peut-on connaître exactement la valeur que ceux-ci attachent à ce paysage ? Si cette route permet d'épargner du temps et des vies humaines, en dessous de quelle limite supérieure de coût faut-il la construire ? Sachant qu'on parle de vies sauvées *futures* et de gains de temps *futurs*, comment prendre une décision *aujourd'hui* ?

Que valent ces vies sauvées et ces gains de temps futurs vus à partir d'aujourd'hui ? En d'autres termes, quel est le taux d'actualisation qu'il faut adopter pour des investissements publics ? Est-ce le même que celui qu'adopteraient des investisseurs privés ? Et cette terrible question : sachant que les générations futures seront plus riches que les générations actuelles compte tenu de la croissance de l'économie mondiale, quel pourcentage du fardeau faut-il faire porter aux générations présentes pour assurer aux générations futures un environnement de qualité acceptable ?

Attirons particulièrement l'attention sur la complexité de l'exercice auquel se sont livrés ces dernières années les différents pays de l'Union européenne, où ces préoccupations occupent plus de place que partout ailleurs, pour résoudre ces questions. Commençons par évoquer l'exemple de la France, pays qui a confirmé en pratique ce que la théorie des externalités disait dès l'article fondateur de Coase : lorsqu'un grand nombre de parties sont impliquées dans des problèmes relatifs à des externalités, seul l'État peut résoudre les conflits qui en résultent.

C'est ainsi que nous avons vu l'État français confier une première mission d'évaluation des dégâts causés par les rejets de CO₂ en 2001 à l'un des plus brillants ingénieurs-économistes de son temps, Marcel BOÎTEUX, mission qui donnera naissance au célèbre « Rapport BOÎTEUX » dans lequel l'évaluation de la valeur d'une tonne de CO₂ non rejetée servira dans le calcul des coûts et avantages des investissements publics, notamment dans le domaine des transports, puis une mission de révision du taux d'actualisation des investissements publics qui donnera naissance en 2005 au rapport LEBÈGUE puis, en 2008, une seconde mission d'évaluation de la valeur tutélaire du carbone (le rapport QUINET) qui permettra, entre autres, à une dernière mission, conduite par l'ancien premier ministre M. Michel ROCARD, de proposer des mesures fiscales applicables aux carburants.

Chaque mission va mobiliser les meilleurs économistes, mathématiciens et physiciens du moment et donner lieu à des débats passionnés. Des auditions d'experts en nombre considérable vont avoir lieu, donnant à chaque fois un nouvel élan à la recherche appliquée dans les différents domaines liés aux divers types de pollution, à l'impact des émissions de carbone sur le changement climatique et aux conséquences de celui-ci sur l'activité des différents secteurs économiques au cours des décennies à venir, ce qui suppose de considérables efforts de modélisation de l'activité économique au sein de laboratoires de recherche groupant des expertises différentes.

Les choix finaux que feront les hommes politiques ne reflèteront pas forcément les conclusions de ces rapports, elles-mêmes souvent le résultat d'arbitrages, mais l'initiative gouvernementale aura toujours eu le mérite de donner l'impulsion fondamentale à des efforts de réflexion et de recherche essentiels à l'amélioration du cadre de vie des générations présentes et futures.

Des efforts similaires sont régulièrement conduits au niveau européen sous l'égide de la Commission européenne dont, à titre d'exemple, le manuel récent sur les externalités dans le domaine des transports présente l'état de l'art dans le calcul de la valeur des externalités diverses (sonores, visuelles, liées à la santé et au changement climatique) en se basant sur de très nombreuses études partielles préalables.

Toute une communauté de scientifiques se voit ainsi mobilisée par la puissance publique et rémunérée par elle pour une tâche qui ne peut que relever d'elle et qui est au service des générations présentes et futures.

On constate malheureusement que les pays du Machrek sont encore très en retrait dans ces domaines. En l'absence d'un signal clair venu des plus hauts sommets de l'État et annonçant de manière dénuée d'ambiguïté l'engagement de l'État dans la préservation de l'Environnement local et dans l'effort international de lutte contre le changement climatique, peu de scientifiques et d'économistes accepteront de se consacrer à l'étude de l'économie de l'Environnement. On a pourtant pu voir, au Liban, comment le simple fait que l'État se mette à exiger des études d'impact environnemental a suscité des vocations d'économistes de l'Environnement, tous les jours plus nombreux.

Il est temps à présent que les pays du Machrek passent à un stade plus avancé de développement : celui qui verra la création de systèmes économiques au sein desquels la composante environnementale sera une déterminante essentielle des équilibres globaux. Les pays importateurs nets de pétrole tels que le Liban ou la Jordanie ont des raisons supplémentaires de le faire mais il faut bien se dire que cela passera par la mise en place de systèmes fiscaux environnementaux qui imposeront des contraintes sur les modes de consommation et qui toucheront tous les aspects de la vie des sociétés puisqu'elles devront traiter autant des pollutions locales que des pollutions aux effets transfrontaliers telles que les émissions de CO₂ générées par les transports, l'habitat ou l'industrie. L'adaptation de l'économie à un nouveau modèle de développement est un processus long et souvent douloureux. Raison supplémentaire pour commencer le plus tôt possible !

Citons ici l'exemple de la Suède qui a instauré dès 1991 une taxe carbone de 27 euros par tonne de CO₂, qui l'a progressivement augmentée depuis lors et dont l'économie fonctionne aujourd'hui avec une taxe carbone de 108 euros la tonne, alors que la France n'a pas réussi à introduire l'année dernière une taxe carbone de 32 euros la tonne comme le préconisait le rapport ROCARD ! Trop d'acquis et d'habitudes étaient en jeu. Cette fiscalité, qui touche tous les domaines de la vie publique et privée, a permis à la Suède de réduire en vingt ans ses émissions de carbone de 9 % alors même que son économie croissait de 48 % ! Malgré la lourdeur de sa fiscalité carbone

et la crise économique internationale, sa croissance a atteint le chiffre incroyable de 4,5 % l'année dernière contre 1,5 % pour la France. La Suède a tout simplement eu le temps d'adapter son économie aux contraintes d'un monde futur sans hydrocarbures et, en optimisant sa consommation d'énergie, a trouvé un sentier de croissance bien plus efficace que celui de beaucoup d'autres pays.

Plusieurs pays du Machrek sont signataires de la Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique et du protocole de Kyoto et ont, à ce titre, le devoir de présenter des communications sur l'état de leurs émissions de gaz à effets de serre et sur leurs efforts de réduction de ces émissions. Ces communications portent sur l'état de ces émissions et sur les politiques mises en place pour les diminuer. Chacune de ces communications est l'occasion de donner un nouvel élan à la recherche appliquée dans les domaines mentionnés ci-dessus, de donner une nouvelle impulsion à la création d'une communauté pluridisciplinaire de chercheurs capables de proposer de nouvelles politiques publiques.

C'est en tout cas le souhait de l'Union européenne que de voir émerger une pareille communauté de scientifiques dans les pays de son voisinage. Un projet intitulé "*CLIMA South*", destiné à aider ces pays dans l'élaboration de leurs politiques nationales de lutte contre les émissions de gaz à effets de serre, devrait bientôt voir le jour. Il a la particularité de chercher à associer le monde universitaire à l'ensemble des parties prenantes du projet.

Nous espérons que, de leur côté, les communautés existantes de chercheurs dans les différents pays du Machrek sauront unir leurs efforts pour faire davantage entendre leur voix auprès des décideurs politiques au sujet de l'importance qu'il y a à s'attaquer dès aujourd'hui aux défis immenses que pose la gestion de notre planète.

BIBLIOGRAPHIE

COASE, Ronald, 1960: "The Problem of Social Cost", Journal of Law & Economics III, p.1-44. Traduction française: COASE, Ronald, 2000: Le coût du droit, Paris, PUF.

MEADOWS, Donella and Denis, 1972: The Limits to Growth, New-York, Universe Books.

ARROW, SOLOW, PORTNER, LEAMER, RADNER, SCHUMAN, 1993: Report of the NOAA on Contingent Valuation, United States, National Oceanic and Atmospheric Administration.

STERN, Nicolas, 2006: Stern Review on the Economics of Climate Change, London, HM Treasury.

BOITEUX, Marcel, 2001 : Transports : Choix des investissements et coûts des nuisances, Paris, Commissariat Général du Plan.

LEBEGUE, Daniel, 2005 : Révision du taux d'actualisation des investissements publics, Paris, Commissariat Général du Plan.

QUINET, Alain, 2009 : La valeur tutélaire du carbone, Paris, Centre d'Analyse Stratégique (publié par La Documentation Française, mars 2009).

ROCARD, Michel, 2009 : Rapport des experts et de la table ronde sur la contribution Climat et Energie, Paris, Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer.

CE DELFT, 2008: Handbook of External Costs in the Transport Sector, Bruxelles, Commission européenne (DG TREN).

Ce document rassemble les actes du séminaire régional « Environnement et gestion durable des écosystèmes naturels au Moyen-Orient », qui s'est tenu du 18 au 20 avril 2011 à Beyrouth – Liban.

Ce colloque a été organisé par le Bureau Moyen-Orient de l'Agence universitaire de la Francophonie :

- Sous le parrainage du Ministère de l'Énergie et de l'Eau

- En partenariat avec : l'Ambassade de France au Liban, le Conseil national de la Recherche Scientifique - Liban, le Centre de recherche pour le développement international et Berytech

Bureau Moyen-Orient
Agence universitaire de la Francophonie
B.P. 11-9082 - Riad El Solh, 1107 2280, Beyrouth,
Rue de Damas, Villa F, Cité Bounoure Centre culturel français de Beyrouth,
Liban

Documents consultables et téléchargeables sur le site des Archives ouvertes du Moyen-Orient
<http://hal-confremo.archives-ouvertes.fr/>