



HAL
open science

Dynamiques de transition dans les territoires portuaires : apport de l'écologie industrielle et territoriale aux processus d'adaptation vers une société bas-carbone

Nicolas Mat

► To cite this version:

Nicolas Mat. Dynamiques de transition dans les territoires portuaires : apport de l'écologie industrielle et territoriale aux processus d'adaptation vers une société bas-carbone. Sciences de la Terre. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne; Saint-Etienne, EMSE, 2015. Français. NNT : 2015EMSE0799 . tel-01293786

HAL Id: tel-01293786

<https://theses.hal.science/tel-01293786>

Submitted on 25 Mar 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.



NNT : 2015 EMSE 0799

THÈSE

présentée par

Nicolas MAT

pour obtenir le grade de
Docteur de l'École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne

Spécialité : Sciences et Génie de l'Environnement

DYNAMIQUES DE TRANSITION DANS LES TERRITOIRES PORTUAIRES : APPORT DE L'ÉCOLOGIE INDUSTRIELLE ET TERRITORIALE AUX PROCESSUS D'ADAPTATION VERS UNE SOCIÉTÉ BAS-CARBONE

soutenue à Alès, le 28 octobre 2015

Membres du jury

| | | |
|----------------------|------------------------------|---|
| Présidente : | Frédérique VINCENT | Professeur, Mines ParisTech |
| Rapporteurs : | Suren ERKMAN | Professeur, Université de Lausanne |
| | Valérie LAVAUD- LETILLEUL | Maître de Conférences HDR, Université Paul-Valéry Montpellier 3 |
| Examineur(s) : | Robert HAUSLER | Professeur, Ecole de Technologie Supérieure, Montréal |
| | Yann ALIX | Docteur, Fondation Sefacil, Le Havre |
| | Valérie LAFOREST | Directeur de recherche, Ecole des mines de Saint-Etienne |
| | Guillaume JUNQUA | Maître assistant, Ecole des mines d'Alès |
| Directeur de thèse : | Miguel LOPEZ-FERBER | Professeur, Ecole des mines d'Alès |
| Invité(s): | Frédéric DAGNET | Directeur de la Mission Prospective Evaluation, Grand Port Maritime de Marseille |

Spécialités doctorales

SCIENCES ET GENIE DES MATERIAUX
MECANIQUE ET INGENIERIE
GENIE DES PROCEDES
SCIENCES DE LA TERRE
SCIENCES ET GENIE DE L'ENVIRONNEMENT

Responsables :

K. Wolski Directeur de recherche
S. Dupier, professeur
F. Gruy, Maître de recherche
B. Guy, Directeur de recherche
D. Gralliot, Directeur de recherche

Spécialités doctorales

MATHEMATIQUES APPLIQUEES
INFORMATIQUE
IMAGE, VISION, SIGNAL
GENIE INDUSTRIEL
MICROELECTRONIQUE

Responsables

O. Roustant, Maître-assistant
O. Boissier, Professeur
J.C. Fincé, Professeur
A. Dolgui, Professeur
S. Dauzere Peres, Professeur

EMSE : Enseignants-chercheurs et chercheurs autorisés à diriger des thèses de doctorat (titulaires d'un doctorat d'État ou d'une HDR)

| | | | | |
|--------------------|---------------|------------------------|--------------------------------------|-------|
| ABSI | Nabil | CR | Génie industriel | CMP |
| AVREL | Stéphane | PR2 | Mécanique et ingénierie | CIS |
| BALBO | Flavien | PR2 | Informatique | FAYOL |
| BASSEREAU | Jean-François | PR | Sciences et génie des matériaux | SMS |
| BATTON-HUBERT | Mireille | PR2 | Sciences et génie de l'environnement | FAYOL |
| BERGER DOUCE | Sandrine | PR2 | Sciences de gestion | FAYOL |
| BERNACHE-ASSOLLANT | Didier | PR0 | Génie des Procédés | CIS |
| BIGOT | Jean Pierre | MR(DR2) | Génie des Procédés | SPIN |
| BILAL | Fouad | DR | Sciences de la Terre | SPIN |
| BLAYAC | Sylvain | MA(MDC) | Microélectronique | CMP |
| BOISSIER | Olivier | PR1 | Informatique | FAYOL |
| BORBELY | Andras | MR(DR2) | Sciences et génie des matériaux | SMS |
| BOUCHER | Xavier | PR2 | Génie Industriel | FAYOL |
| BRODHAG | Christian | DR | Sciences et génie de l'environnement | FAYOL |
| BRUCHON | Julien | MA(MDC) | Mécanique et ingénierie | SMS |
| BURLAT | Patrick | PR1 | Génie Industriel | FAYOL |
| COURNIL | Michel | PR0 | Génie des Procédés | DIR |
| DARRIEULAT | Michel | IGM | Sciences et génie des matériaux | SMS |
| DAUZERE-PERES | Stéphane | PR1 | Génie Industriel | CMP |
| DEBAYLE | Johan | CR | Image Vision Signal | CIS |
| DELAFOSSÉ | David | PR0 | Sciences et génie des matériaux | SMS |
| DESRAYAUD | Christophe | PR1 | Mécanique et ingénierie | SMS |
| DOLGUIT | Alexandre | PR0 | Génie Industriel | FAYOL |
| DRAPIER | Sylvain | PR1 | Mécanique et ingénierie | SMS |
| FEILLET | Dominique | PR1 | Génie Industriel | CMP |
| FEVOTTE | Gilles | PR1 | Génie des Procédés | SPIN |
| FRACZKIEWICZ | Anna | DR | Sciences et génie des matériaux | SMS |
| GARCIA | Daniel | MR(DR2) | Génie des Procédés | SPIN |
| GERINGER | Jean | MA(MDC) | Sciences et génie des matériaux | CIS |
| GOEURJOT | Dominique | DR | Sciences et génie des matériaux | SMS |
| GRAILLOT | Didier | DR | Sciences et génie de l'environnement | SPIN |
| GROSSEAU | Philippe | DR | Génie des Procédés | SPIN |
| GRUY | Frédéric | PR1 | Génie des Procédés | SPIN |
| GUY | Bernard | DR | Sciences de la Terre | SPIN |
| HAN | Woo-Suck | MR | Mécanique et ingénierie | SMS |
| HERRI | Jean Michel | PR1 | Génie des Procédés | SPIN |
| KERMOOCHE | Guillaume | PR2 | Mécanique et Ingénierie | SMS |
| KLOCKER | Helmur | DR | Sciences et génie des matériaux | SMS |
| LAFOREST | Valérie | MR(DR2) | Sciences et génie de l'environnement | FAYOL |
| LERICHE | Rodolphe | CR | Mécanique et ingénierie | FAYOL |
| LI | Jean-Michel | | Microélectronique | CMP |
| MALLIARAS | Georges | PR1 | Microélectronique | CMP |
| MAURINE | Philippe | | | CMP |
| MOLIMARD | Jérôme | PR2 | Mécanique et ingénierie | CIS |
| MONTHEILLET | Frank | DR | Sciences et génie des matériaux | SMS |
| MOUTTE | Jacques | CR | Génie des Procédés | SPIN |
| NEUBERT | Gilles | | | FAYOL |
| NIKOLOVSKI | Jean-Pierre | Ingenieur de recherche | | CMP |
| NORTIER | Patrice | PR1 | | SPIN |
| PIOLAT | Christophe | PR0 | Génie des Procédés | SPIN |
| PIOLAT | Michèle | PR1 | Génie des Procédés | SPIN |
| PINOLI | Jean Charles | PR0 | Image Vision Signal | CIS |
| POURCHEZ | Jérémy | MR | Génie des Procédés | CIS |
| ROBISSON | Bruno | Ingenieur de recherche | | CMP |
| ROUSSY | Agnes | MA(MDC) | Génie industriel | CMP |
| ROUSTANT | Olivier | MA(MDC) | Mathématiques appliquées | FAYOL |
| ROUX | Christien | PR | Image Vision Signal | CIS |
| STOLARZ | Jacques | CR | Sciences et génie des matériaux | SMS |
| TRIA | Assia | Ingenieur de recherche | Microélectronique | CMP |
| VALDIVIESO | François | PR2 | Sciences et génie des matériaux | SMS |
| VIRICELLE | Jean Paul | DR | Génie des Procédés | SPIN |
| WOLSKI | Krzysztof | DR | Sciences et génie des matériaux | SMS |
| XIE | Xiaolan | PR1 | Génie industriel | CIS |
| YUGMA | Guilan | CR | Génie industriel | CMP |

ENISE : Enseignants-chercheurs et chercheurs autorisés à diriger des thèses de doctorat (titulaires d'un doctorat d'État ou d'une HDR)

| | | | | |
|-----------|-------------|------------------------|---------------------------------|-------|
| BERGHEAU | Jean-Michel | PU | Mécanique et Ingénierie | ENISE |
| BERTRAND | Philippe | MCF | Génie des procédés | ENISE |
| DUBUJET | Philippe | PU | Mécanique et Ingénierie | ENISE |
| FEULVARCH | Eric | MCF | Mécanique et Ingénierie | ENISE |
| FORTUNIER | Roland | PR | Sciences et Génie des matériaux | ENISE |
| GUSSAROV | Andrey | Enseignant contractuel | Génie des procédés | ENISE |
| HAMDI | Hédi | MCF | Mécanique et Ingénierie | ENISE |
| LYONNET | Patrick | PU | Mécanique et Ingénierie | ENISE |
| RECH | Joël | PU | Mécanique et Ingénierie | ENISE |
| SMUROV | Igor | PU | Mécanique et Ingénierie | ENISE |
| TOSCANO | Rosario | PU | Mécanique et Ingénierie | ENISE |
| ZAHOUANI | Hassan | PU | Mécanique et Ingénierie | ENISE |

Mise à jour : 28/10/2014

Remerciements

Ce travail de recherche aura été un exercice individuel inscrit dans une dynamique plus large et collective. Il s'est ainsi construit sur la base de collaborations multiples et enrichissantes. A ce titre, je tiens donc à remercier :

Les personnes de l'Ecole des mines d'Alès, notamment au sein du Laboratoire de Génie en Environnement Industriel (LGEI). En premier lieu, je tiens à remercier Miguel Lopez-Ferber, Professeur de l'Ecole des mines d'Alès, qui m'a offert cette opportunité en 2012 et qui a accepté d'encadrer et de diriger mon travail de recherche durant ces trois années. Je tiens également à remercier Guillaume Junqua, Maître assistant à l'Ecole des mines d'Alès, avec qui je collabore depuis 2009 sur ces sujets de recherche, particulièrement sur le territoire portuaire de Marseille-Fos. Merci aussi à mes différents collègues au sein de l'Ecole dans les différents laboratoires (qu'ils soient techniciens, doctorants, post-doctorants ou enseignants-chercheurs) avec qui j'ai pu partager des moments de recherche, de convivialité et de sport, mais aussi de doutes. Je remercie chaleureusement Anne Johannet, Maître de recherche à l'Ecole des mines d'Alès, pour son écoute, ses capacités de management et son soutien quand il fallait « relancer la machine ».

Les membres de mon jury de thèse qui ont accepté d'examiner mon travail de recherche. Au regard de la richesse de leurs parcours respectifs, je suis honoré que Valérie Lavaud-Letilleul, Maître de Conférences à l'Université de géographie de Montpellier 3 et Suren Erkman, Professeur à l'Université de Lausanne, aient accepté d'être les rapporteurs de mon travail de recherche. Je les remercie vivement pour l'ensemble de leurs remarques et observations formulées. Je tiens également à remercier Frédérique Vincent, Professeur à l'Ecole des mines de Paris, dont les capacités de leadership sont une vraie source d'inspiration, Robert Hausler, Professeur à l'Ecole de Technologie Supérieure de Montréal, pour son accueil et nos échanges fructueux il y a quelques années lors de mon passage dans le cadre du retour d'expériences international, Valérie Laforest, Maître de recherche à l'Ecole des mines de Saint-Etienne, pour son suivi attentif sur ces thèmes de recherche. Je tiens également à remercier Frédéric Dagnet, Directeur de la mission Prospective au Grand Port Maritime de Marseille, pour sa confiance, son appui et la richesse de son partage d'expérience sur le territoire portuaire de Marseille. Je tiens aussi à remercier vivement Yann Alix, Délégué Général de la Fondation Sefacil, pour son caractère entrepreneurial, son intelligence du réseau, son soutien structurant notamment dans le cadre du montage de mon voyage d'études en Asie, ainsi que pour les opportunités offertes (en termes de publications notamment) et pour nos échanges stimulants sur l'avenir des territoires portuaires.

Les personnes extérieures et partenaires qui m'ont permis de mener à bien cette recherche. Je tiens notamment à remercier Shi Lei, Professeur à l'Université Tsinghua de Beijing, et les membres de son équipe (Haiyan, Yang, Xiao, Haijia, etc.) pour leur accueil, leur bonne humeur et leur travail de facilitation lors de mes visites de terrain en Chine. Ils m'auront permis d'approfondir mes travaux de recherche sur le contexte chinois et celui de Ningbo dans la province du Zhejiang en particulier. Je tiens aussi à remercier Hung Suck Park, Professeur de l'Université d'Ulsan, pour son accueil et nos échanges stimulants lors de mon séjour d'étude à Ulsan en Corée du Sud, à la fois sur nos thématiques communes de recherche, mais aussi sur des aspects plus personnels de nos vies et des choix qui y sont associés. Merci aussi à toute l'équipe de son laboratoire (Sang Hui, Jun-Mo,

Mohamed Zafar, etc.) pour ces bons moments passés ensemble, notamment gastronomiques ! Je tiens également à remercier Daniel Labaronne, Economiste et Maître de Conférences à l'Université de Bordeaux IV, et Myriam Donsimoni, Economiste et Maître de Conférences à l'Université de Savoie, pour notre collaboration fructueuse ces dernières années, leurs conseils avisés et le plaisir d'arpenter le terrain industrialo-portuaire avec eux, notamment au Maroc. Parmi les partenaires m'ayant fait confiance depuis de nombreuses années, je tiens bien évidemment à remercier Olivier Lemaire et Bruno Delsalle, respectivement Directeur et Directeur adjoint de l'Association Internationale Villes et Ports (AIVP), ainsi que toute l'équipe de l'AIVP, pour leur soutien précieux et la force de leur réseau pour mener à bien les retours d'expériences internationaux et valoriser ces travaux de recherche. Je tiens également à remercier les différentes personnes (au sein des autorités portuaires, collectivités, industries, associations, chambres consulaires, académiques, institutions, institut d'économie circulaire, etc.) rencontrées à l'échelle internationale et ceux français membres du Groupe de travail national pour leur implication active et leur partage d'expériences. Merci également à l'ADEME et à la Caisse des Dépôts et Consignations pour leur soutien financier dans le cadre de ces nombreux travaux de recherche-action opérés ces dernières années. Je tiens aussi à remercier ici des personnes qui m'ont inspiré et encouragé à mener ce type de travaux ou à développer une vision entrepreneuriale (parmi eux, sans pouvoir être exhaustif, Benoît Duret, Bertrand Meloy, Jean-Marc Borello, Pierre Sourzat, etc.).

Les amis et membres de ma famille, qui m'ont offert un cadre apaisé pour mener à bien ce type de travaux, malgré tous mes déplacements aux « quatre coins de la planète ». Au premier chef, je pense bien évidemment à Juliette, sans qui rien n'aurait été possible et qui a su me mettre le pied à l'étrier pour concrétiser mes rêves. Je pense aussi à nos filles qui ont toujours su dépasser et s'adapter à l'absence de leur père durant ces trois années et qui, je n'en doute pas, sauront se nourrir de ces expériences dans leur vie future. Merci également à ma mère pour m'avoir fait constamment confiance dans le cadre de mes études. Enfin, j'ai une pensée profonde pour mes grands-parents, aujourd'hui disparus : mon grand-père, qui m'a appris à lire, pour m'avoir transmis son idée d'une technique davantage raisonnée, au service de l'humain mais aussi de son environnement notamment dans le monde industrialo-portuaire, et ma grand-mère, tout simplement pour m'avoir appris à rêver.

Sommaire

| | |
|---|-------------------|
| <u>INTRODUCTION GENERALE</u> | <u>11</u> |
| <u>CHAPITRE 1 : DE DEMARCHES D’OPTIMISATION SECTORIELLE AUX APPROCHES TERRITORIALES DE L’ÉCOLOGIE INDUSTRIELLE, ECLAIRAGES A TRAVERS UN RETOUR D’EXPERIENCES INTERNATIONAL</u> | <u>49</u> |
| 1.1. INTRODUCTION AU CHAPITRE 1 : PORT ET ENERGIE | 49 |
| 1.2. METTRE EN ŒUVRE L’ÉCOLOGIE INDUSTRIELLE DANS LES VILLES PORTUAIRES : RETOURS D’EXPERIENCES INTERNATIONALES ET ANALYSE CROISEE D’ETUDES DE CAS | 51 |
| 1.3. DISCUSSIONS DU CHAPITRE 1 : VERS DES APPROCHES TERRITORIALES ET DECLOISONNEES DE GESTION DES RESSOURCES..... | 78 |
| 1.4. CONCLUSION DU CHAPITRE 1 ET TRANSITION | 86 |
| <u>CHAPITRE 2 : TRAJECTOIRES D’EVOLUTION DES TERRITOIRES PORTUAIRES VERS DES APPROCHES TERRITORIALES D’ÉCOLOGIE INDUSTRIELLE ET LOW CARBON</u> | <u>89</u> |
| 2.1. INTRODUCTION AU CHAPITRE 2 : ENJEUX METHODOLOGIQUES ET PREMIERS CONSTATS | 89 |
| 2.2. TRAJECTOIRES SOCIOÉCOLOGIQUES VERS DES VILLES PORTUAIRES BAS CARBONE : PROCESSUS D’ADAPTATION EN ASIE ET EN EUROPE | 93 |
| 2.3. VERS UNE PLUS GRANDE INTERACTION FONCTIONNELLE PAR LA MISE EN ŒUVRE DE DYNAMIQUES TERRITORIALES D’ÉCOLOGIE INDUSTRIELLE AU SEIN DE TERRITOIRES RECOMPOSES..... | 116 |
| 2.4. CONCLUSION DU CHAPITRE 2 ET TRANSITION | 126 |
| <u>CHAPITRE 3 : PLUS-VALUE TERRITORIALE ET PROCESSUS DE COMPLEXIFICATION AU SEIN DES TERRITOIRES PORTUAIRES EN PERIODE DE TRANSITION</u> | <u>127</u> |
| 3.1. INTRODUCTION AU CHAPITRE 3 : PROCESSUS DE COMPLEXIFICATION DU TERRITOIRE PORTUAIRE..... | 127 |
| 3.2. LA COMPLEXITE COMME FACTEUR DE RESILIENCE D’UN TERRITOIRE METROPOLITAIN PORTUAIRE..... | 130 |
| 3.3. DISCUSSIONS DU CHAPITRE 3 : COMPLEXITE ET TRANSITION ENERGETIQUE DES TERRITOIRES PORTUAIRES..... | 149 |
| 3.4. CONCLUSION DU CHAPITRE 3 | 159 |
| <u>CONCLUSION GENERALE : SYNTHESE ET PERSPECTIVES.....</u> | <u>161</u> |
| <u>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</u> | <u>173</u> |
| <u>ANNEXES</u> | <u>189</u> |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|---|-----|
| Tableau 1 – Scénarii envisagés pour l'évolution des flux énergétiques..... | 30 |
| Tableau 2 – Première caractérisation des sous-systèmes | 34 |
| Tableau 3 – Approche comparative entre sous-systèmes urbain, agricole et industrialo-portuaire ... | 41 |
| Tableau 4 – Lecture des évolutions socio-écologiques par la proximité et par les interactions fonctionnelles..... | 116 |

LISTE DES FIGURES

| | |
|---|----|
| Figure 1 – Consommation mondiale d'énergie (Source : BP, 2012)..... | 13 |
| Figure 2 – Niveau d'artificialisation du territoire métropolitain en 2000 (UE-Ifen, CORINE Land Cover, 2000)..... | 28 |
| Figure 3 – Typologie des espaces ruraux et des espaces à enjeux spécifiques (littoral et montagne). Source : UMR CESAER (Inra/AgroSup Dijon), l'UMR THÉMA (Université de Franche-Comté/CNRS), l'UR DTM (Cemagref) et l'UMR METAFORT(AgroParisTech/Cemagref/Inra/VetAgroSup) pour le compte de la DATAR, novembre 2011 | 28 |
| Figure 4 – Trafic de marchandises par catégorie, tonnage brut 2012 (source : Observatoire national de la mer et du littoral) | 29 |
| Figure 5 – Périmètre d'étude du territoire industrialo-portuaire | 33 |
| Figure 6 – Logique d'interactions entre sous-systèmes constitutifs du territoire industrialo-portuaire | 34 |
| Figure 7 – Représentation simplifiée des unités d'étude du sous-système urbain | 36 |
| Figure 8 – Représentation simplifiée des unités d'étude du sous-système agricole | 38 |
| Figure 9 – Représentation simplifiée des unités d'étude du sous-système industrialo-portuaire | 40 |
| Figure 10 – Structure du travail de recherche..... | 47 |
| Figure 11 – Principaux modèles en termes de configuration spatiale des initiatives d'écologie industrielle portuaire..... | 78 |
| Figure 12 – Symbioses industrielles d'Osaka Gas Company (d'après Cerceau, 2012) | 80 |
| Figure 13 – Métabolisme de l'OCP sur le territoire industrial-portuaire de Jorf Lasfar (d'après Cerceau, 2012) | 82 |
| Figure 14 – Synergies du Biopark Terneuzen (source : http://www.bioparkterneuzen.com)..... | 83 |
| Figure 15 – Représentation simplifiée des différentes échelles de synergies | 85 |
| Figure 16 – Comparaison des échelles d'analyse entre Ningbo, Marseille et Ulsan..... | 90 |
| Figure 17 – Tendances d'évolution des échelles de mise en œuvre de symbioses (Mat, 2015) d'après Mat <i>et al</i> , 2014 | 91 |
| Figure 18 – Case studies perimeter including port industrial area, urban area, and agricultural area | 97 |
| Figure 19 – Characterization of socio-ecological patterns and processes | 99 |

| | |
|--|-----|
| Figure 20 – Total traffic and hydrocarbon traffic in Marseille area | 100 |
| Figure 21 – Total traffic and hydrocarbon traffic in Ningbo district (no data before 1978) | 103 |
| Figure 22 – Total traffic and hydrocarbon traffic in Ulsan | 105 |
| Figure 23 – Comparison of time frames of trends in each port city | 108 |
| Figure 24 – Port city interactions and trends in globalization (based on and adapted from Lee <i>et al.</i> , 2008)..... | 109 |
| Figure 25 – Evolution spatiale de l’interface Port-Ville de Marseille (d’après Junqua et Mat, 2011). 117 | |
| Figure 26 – Similitudes en termes d’évolution spatiale (déconnexion Ville-Port) entre Marseille et Ningbo | 118 |
| Figure 27 – Métabolisme simplifié des zones industrial-portuaires de Beilun et Zhenhai en Chine | 119 |
| Figure 28 – Evolution des synergies à Ulsan (source: Park, 2013) | 120 |
| Figure 29 – Détail d’une symbiose industrielle sur Ulsan (source: Park, 2013) | 121 |
| Figure 30 – Détail d’une interaction industrie-agriculture-ville sur Ulsan (source: Park, 2013)..... | 122 |
| Figure 31 – Points principaux de consommation d’énergie sur le territoire métropolitain d’Aix Marseille Provence (source: MISE, 2013)..... | 123 |
| Figure 32 – Projet de réseau de chaleur de la plateforme PIICTO (Source: PIICTO, 2014) | 124 |
| Figure 33 - Boundaries of Aix-Marseille-Provence metropolitan project area (from DDTM 13, 2014) | 132 |
| Figure 34 - Definition of subsystems included within the scope of our study | 133 |
| Figure 35 – Evolution of Marseille port traffic (assessed in Mtons) since the mid-20th century..... | 135 |
| Figure 36 - Energy production in the Aix-Marseille-Provence Metropolitan area..... | 135 |
| Figure 37 – Subsystem interactions until 2012 (T0)..... | 136 |
| Figure 38 - Subsystem interactions from 2012 to 2018 (T1)..... | 139 |
| Figure 39 - Subsystem interactions expected after 2018 (T2) | 140 |
| Figure 40 – Trend in complexity in the Marseille port area | 141 |
| Figure 41 – Dynamiques d’évolution du trafic portuaire à Ningbo, Ulsan et Marseille sur les trente dernières années..... | 152 |
| Figure 42 – Création de micro-synergies, illustrée par l’optimisation au sein du sous-système industriel..... | 153 |
| Figure 43 – Création de meso et macro-synergies..... | 153 |
| Figure 44 – Création de d’espaces mutualisés à l’interface des différents sous-systèmes | 154 |
| Figure 45 – Tendances d’évolution du niveau de complexité des territoires de Marseille, Ulsan et Ningbo | 155 |
| Figure 46 – Modélisation de l’écosystème énergétique industrialo-portuaire du Grand Port Maritime de Marseille (Pichon, 2013)..... | 158 |

Avant-propos

« [...] »

- *Savons-nous ce que nous allons faire, et pourquoi ?*
- *Non.*
- *Quelle importance ?*
- *Nous nous poserons des questions au fur et à mesure de notre progression. Laissons l'action engendrer notre doctrine, et nous assurer ainsi une parfaite cohérence théorique. [...] »*
(E. Abbey, 1975).

On rentre en thèse avec de nobles *ambitions* et on en ressort finalement avec une saine *humilité*... Ambitions, pour tenter de faire avancer l'écologie industrielle et l'économie circulaire en France, idéalement dans une logique collective avec les différents acteurs impliqués au niveau des territoires portuaires. Humilité, au regard de la quantité considérable de travaux de recherche menés depuis déjà plus de 20 ans à une échelle internationale. Cette production n'entendait évidemment pas révolutionner la recherche mais si elle peut apporter *in fine* une maigre contribution à la création de connaissances, alors son objectif sera déjà bien atteint. Elle aura été une parenthèse de réflexion dans un parcours professionnel et a permis de prendre le temps et s'autoriser à faire un pas de côté, par rapport à des questionnements progressivement accumulés depuis 2004 en tant que chargé de mission puis chef de projets sur le fonctionnement et le devenir des territoires portuaires, si particuliers et emblématiques à mes yeux.

Cette thèse s'inspire forcément des échanges passés et actuels avec les acteurs de cette communauté, si différents et pourtant tous impliqués dans la recherche et l'expérimentation de solutions pour une meilleure gestion des ressources naturelles dans nos sociétés hyper-industrielles. Finalement, il convient bien de reconnaître que cette thèse ne serait rien sans la contribution active des différentes personnes rencontrées autour de ce sujet ces dernières années, en France et bien au-delà. Elle a permis de développer une réflexion, qui elle-même se nourrit des observations de terrain réalisées depuis dix ans dans ce type de territoire. Elle aura aussi permis de reconsidérer nos problématiques locales, au regard des enjeux qui se posent ailleurs, en Europe mais aussi en Amérique du Nord, en Afrique et en Asie, dans des contextes sociaux et culturels bien différents.

Si elle est arrivée en partie par hasard dans ce parcours de vie professionnel et personnel, cette thèse s'est également inscrite dans une logique d'action qui s'est appuyée, non sans mal parfois, sur le choix délibéré de poursuivre en parallèle ces travaux de recherche et des missions de conseil et d'enseignements externes, qui auront été autant de bouffées d'oxygène régénératrices et utiles dans ce cheminement de pensée. Elle aura permis d'appréhender quelque peu le monde de la Recherche, mis à mal quelques unes de mes illusions et ouvert des perspectives inattendues, qui à elles seules, font le sel de cette implication de trois ans. Ce travail a aussi souligné quelques intuitions quant aux possibilités offertes par l'avenir. Reste désormais à en explorer les potentiels et tenter d'en appliquer

les idées, au sein des écosystèmes portuaires et ailleurs. Convaincu que le renouvellement des idées passe aussi par le renouvellement des personnes, cette thèse propose quelques pistes de réflexion, interdisciplinaire, pour les actuels et prochains contributeurs à ce type de travaux.

Le choix de travailler sur ce type de territoires, et sur celui de Marseille en particulier, aura peut-être été guidé par mon histoire familiale fortement liée à la ville et au port de Marseille. Cette thèse est ainsi une forme de clin d'œil et d'hommage à leurs vies passées d'industriel et d'artiste, d'ingénieur, de marin, de docker, d'hôtelier. Cet univers unique du monde portuaire a de fait contribué à façonner une part de mon identité personnelle.



Port de Casablanca (R. Pinatel, 1930)

Enfin, parce que cette thèse, telle qu'on lui demande (étymologiquement), entend affirmer une idée, elle pourrait se résumer de la façon suivante : *« dans une logique progressive de meilleure gestion des ressources, basée sur un apprentissage et une prise en compte de notre rapport historique à la nature, il y a un intérêt à développer des interactions fonctionnelles entre les différents compartiments constitutifs de nos sociétés hyper-industrielles, et ce à une échelle territoriale qui fait sens pour les acteurs qui le constituent »*. Ce qui pourrait finalement renvoyer à la question plus fondamentale suivante : pourquoi croître ?

Introduction générale

L'introduction s'appuie en partie sur la publication suivante (annexe n°1) :

- Mat, N., Cerceau, J., Junqua, G., Lopez-Ferber, M., 2014. *Des approches cloisonnées à l'approche territoriale, plus-value des interactions fonctionnelles dans les territoires industrialo-portuaires. Proceeding. COLEIT 2014, Troyes, 9 octobre 2014.*

A. Mise en contexte

Crise écologique et sociétale et limites des réponses apportées aujourd'hui

- *Les limites du modèle productiviste actuel face aux enjeux du 21ème siècle*

De nombreux acteurs de la société civile (chercheurs, journalistes scientifiques, élus, agriculteurs, etc.) s'accordent aujourd'hui sur des constats qui nous interpellent quant à la relation fondamentale de l'Homme avec la Nature (réchauffement climatique, épuisement des ressources, désertification, pollution des milieux naturels, pertes irréversibles de biodiversité, etc.). Pour autant, l'avènement d'un autre modèle de développement économique intégrant la finitude de la planète Terre et donc le caractère limité des ressources physiques et biologiques ainsi que des services écologiques de la biosphère peine encore à s'imposer.

Dans un ouvrage paru en 2012, F. Lenoir définissait la crise actuelle de nos sociétés hyper-industrielles comme systémique, car renvoyant à des désordres profonds (économiques, environnementaux, sociaux, sanitaires, agricoles, etc.) et inter-reliés par une constante : la logique quantitative et mercantile qui caractérise notre attribution exclusive des ressources naturelles. Cette consommation importante de ressources est la résultante directe de ce modèle de pensée, auquel s'ajoute un contexte d'augmentation de la population mondiale et de satisfaction des besoins matériels, sans cesse croissants, de cette dernière. Sans revenir sur les multiples raisons (techniques, sanitaires, etc.) expliquant cette augmentation globale de la population, elle interroge malgré tout notre rapport historique à la technique depuis deux siècles, notamment notre capacité à faire face à ces nouveaux enjeux à l'échelle planétaire. Quand Bourg (1997) énonce que « l'étroite interdépendance des phénomènes et l'irréductibilité de leurs dimensions spatiale et temporelle viennent [...] limiter le pouvoir de nos techniques », il souligne à nouveau la question fondamentale de notre rapport à la technique et au-delà l'intérêt d'adopter une approche davantage pluridisciplinaire et systémique. Face à une crise systémique devrait donc émerger une réponse qui l'est tout autant. Cette réponse passerait par l'instauration d'une autre logique basée sur une diversité de réponses sectorielles et in fine une vision globale et intégrée des enjeux. En termes pratiques, elle renvoie l'humain à sa responsabilité de pensée et d'action, à la fois individuelle et collective, sa responsabilité dans les relations qu'il entretient avec la nature que, par définition, il ne maîtrise pas, et aux ressources qu'elle nous délivre (Bourg, 1997).

Ce travail de recherche part de constats relatifs à notre mode de gestion actuelle des ressources et des enjeux que cela soulève, notamment au regard de l'évolution démographique planétaire programmée :

- A l'échelle mondiale, l'extraction des ressources a augmenté de 80% entre 1980 et 2008, atteignant aujourd'hui 70 milliards de tonnes de matières extraites de la biosphère pour répondre aux besoins de l'humanité. Le panel international sur les ressources (IRP), groupement d'experts créé en 2007 sous l'égide des Nations Unies, qui fournit ces chiffres, estime par ailleurs qu'à mode de développement constant, ces extractions de ressources, essentiellement non renouvelables, seraient multipliées par deux d'ici 2025 et par trois d'ici 2050.
- La population mondiale a parallèlement augmentée de manière importante, passant de 1 milliard d'individus en 1800 à plus de 7 milliards aujourd'hui. Cette tendance d'augmentation situerait, selon les prévisions de l'ONU qui restent soumises à discussion, un scénario médian à 9 milliards en 2050 et près de 11 milliards en 2100.
- Plus de 60% des métropoles urbaines dont la population dépasse 1,3 million d'habitants sont situées le long des côtes (Vallega, 2001) et d'ici 2030, la croissance urbaine sera principalement concentrée le long des corridors côtiers (Seto *et al.*, 2012). L'enjeu urbain est donc majeur. Au niveau du bassin méditerranéen, par exemple, ce taux d'urbanisation pourrait atteindre 75% en 2030, avec 470 millions d'urbains attendus à l'horizon 2050, ce qui suppose la mise en place de stratégies de développement urbain durable efficaces pour accompagner cette croissance urbaine (Hubert, 2014).

Une part croissante de la communauté scientifique mondiale s'accorde aujourd'hui ou du moins converge vers ces constats alarmants (Sutherland *et al.*, 2015 ; Hughes *et al.*, 2013 ; Rockström *et al.*, 2009):

- Les effets de nos activités humaines ont des retentissements importants, croissants et à grande échelle sur la planète et ses milieux (pollution de l'air, des eaux et des sols)
- La corrélation entre nos activités humaines et les impacts et changements sur le milieu naturel s'avèrent de plus en plus probables (réchauffement planétaire, changements climatiques, raréfaction des ressources, disparition d'espèces animales et végétales, etc.).

De nombreux champs scientifiques sont désormais mobilisés sur l'étude, l'observation et l'analyse de ces désordres, de leurs causes et de leurs conséquences. La communauté scientifique tente également de sensibiliser la population et ses décideurs sur les limites, en termes de durabilité, de notre modèle actuel de société et de présenter les options d'évolution qui se présentent pour l'avenir. La plupart de ces options misent sur une responsabilisation croissante des acteurs, à l'échelle individuelle et collective, notamment en termes de consommation, pour assurer un équilibre pérenne dans le système physique fermé de notre espace terrestre.

Dans ce contexte, deux enjeux majeurs sont l'accès aux ressources énergétiques et la disponibilité en eau. Selon Guérassimoff *et al.* (2010) et Olsson (2012), ces deux ressources sont intimement corrélées. En effet, l'eau est à la fois : un vecteur nutritif (l'eau en tant que boisson nécessaire à tous organismes vivants), un vecteur de nutriments (type azote, phosphore, minéraux, etc.) et un vecteur énergétique (thermies ou frigories). La problématique de la disponibilité et de l'accès aux ressources en eau se retrouve au cœur de négociations locales, régionales, nationales et internationales, tant du

point de vue de leur accessibilité et de leur partage (Le Grusse, 2008) que des problématiques indirectes, principalement environnementales, qui y sont liées (création de gigantesques retenues d'eau, émissions de gaz à effet de serre, etc.). Eau et énergie représentent des enjeux déterminants à l'échelle planétaire. L'inégalité d'accès à ces ressources est et sera source de conflits d'usages pouvant déboucher sur des confrontations armées.

L'énergie se retrouve être au cœur de nombre de négociations à l'échelle internationale sur le sujet du réchauffement climatique et de la finitude des ressources fossiles (réunions de l'*International Panel on Climate Change* sous l'égide des Nations Unies, de l'Agence Internationale de l'Énergie, etc.). A ces problématiques de long terme se superposent des éléments conjoncturels et géopolitiques tels que la crise du gaz russe dans le contexte du conflit ukrainien, le pétrole dans le cas libyen ou le nucléaire civil dans le contexte iranien. L'ensemble des acteurs (du local au global) semble aujourd'hui progressivement s'accorder sur la nécessité de sécuriser les approvisionnements énergétiques, de diversifier le mix énergétique global, de mieux maîtriser voire réduire la dépendance à l'énergie, notamment d'origine fossile et de « décarboniser » progressivement cette énergie, comme en France où les pouvoirs publics misent sur une diminution globale de la consommation d'énergie d'ici 2050 tout en maintenant une croissance de l'activité industrielle (ADEME, 2013).

Le défi reste de taille au regard de la consommation d'énergie primaire mondiale qui augmente constamment (selon un rythme annuel compris entre 1 et 6%) et dépasse aujourd'hui les 12 Milliards de tep (IAE, 2011). Le mix énergétique repose à plus de 80% sur les sources d'origine fossile tel que le présente la Figure 1. Concernant la consommation d'énergie pour le seul secteur industriel dans les pays de l'OCDE, celle-ci a augmenté d'environ 20% depuis 1994 (OCDE, 2014).

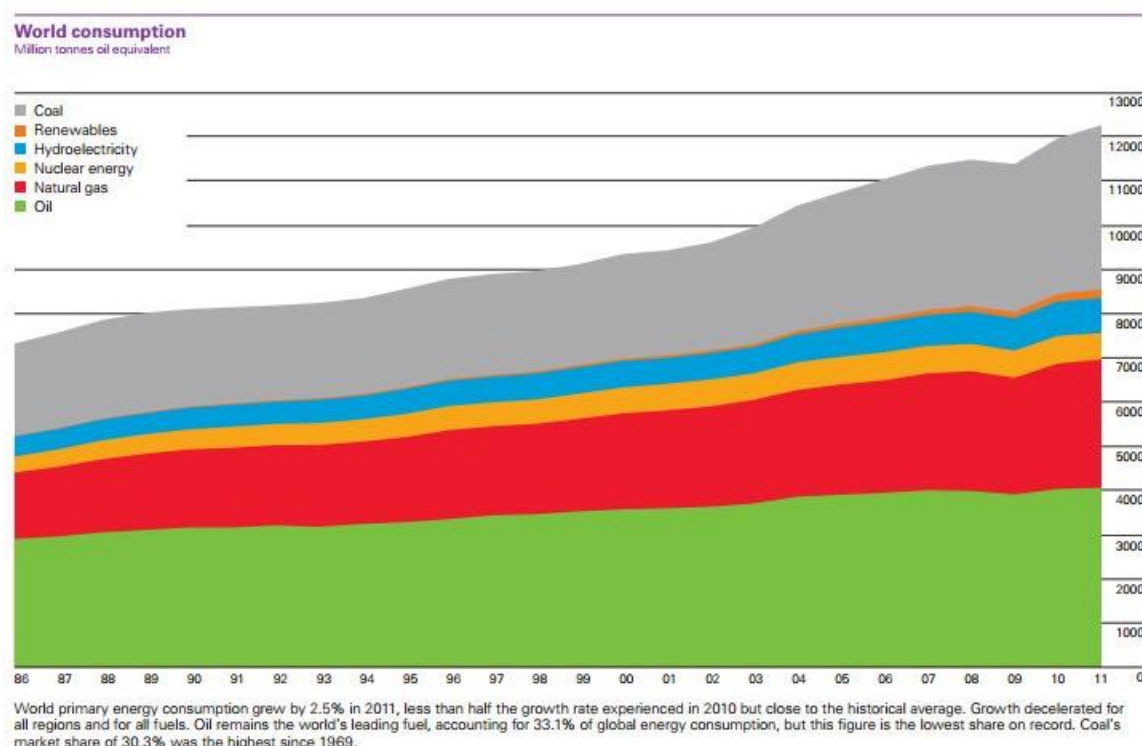


Figure 1 – Consommation mondiale d'énergie (Source : BP, 2012)

Bien que de nombreux efforts soient entrepris au sein des filières économiques pour augmenter leur efficacité énergétique globale et accélérer leur décarbonisation dans l'énergie consommée, les émissions mondiales de gaz à effet de serre continuent à croître. Kaya *et al.* (1997) ont expliqué ce phénomène, en montrant que le niveau total d'émissions de gaz à effet de serre résulte de la combinaison de quatre principaux facteurs : la population, le produit intérieur brut par habitant, l'intensité énergétique et le contenu en CO₂ de l'énergie consommée. C'est le paradoxe de Jevons (également appelé « effet-rebond ») qui s'applique dans ce cas et explique simplement que « l'accroissement de l'efficacité énergétique (la baisse de la quantité d'énergie utilisée pour produire un bien du fait de l'amélioration des technologies) engendre simultanément des économies d'énergie à court terme et une hausse de la consommation à moyen terme qui peut annuler ces économies et finalement engendrer une plus grande consommation d'énergie » (Laurent et Le Cacheux, 2012).

- *Une crise systémique, qui reste difficile à appréhender*

Dans de nombreux colloques scientifiques ou rapports (Gouvernement du Québec, 2013 ; Akinin *et al.*, 2002), des analyses bibliométriques montrent l'évolution sur les 20 dernières années des ouvrages et productions scientifiques en lien avec les vastes enjeux du développement durable. De nombreuses disciplines scientifiques s'intéressent aujourd'hui à ces sujets, allant de l'étude socio-économique des individus et des sociétés à celle des réponses potentielles, dans le champ technique et organisationnel. Bénéficiant d'une exposition médiatique croissante depuis 1997 (année de la signature du Protocole de Kyoto), les enjeux liés à l'énergie et au réchauffement climatique occupent une grande partie de la scène, l'accès à l'énergie ayant été le moteur du développement de notre système actuel. De plus en plus de colloques et autres conférences sont programmés sur les thèmes du développement durable, du mieux-vivre ensemble, de la transition énergétique, etc. témoignant d'une recherche portant sur d'autres modèles de développement.

Dans un autre registre, mais sur la base du même constat, Rifkin (2013) laisse entendre l'émergence d'une troisième révolution industrielle, porteuse d'une infrastructure nouvelle qui correspondrait à la convergence des nouvelles technologies informatique et communicationnelle (Internet) et des énergies renouvelables. Cette convergence technologique permettrait le développement d'un Internet de l'énergie, faisant de chaque acteur un potentiel producteur et distributeur d'énergie. Toute séduisante qu'elle est, cette option n'en demeure pas moins suspendue à la fiabilité/sécurité de l'internet à l'avenir (et des réseaux énergétiques décentralisés), dans un réseau mondial maillé faisant déjà l'objet de toutes les convoitises de maîtrise et de piratage. Plus fondamentalement, elle reposerait une nouvelle fois sur une réponse d'ordre technologique. Or, face aux enjeux du 21^{ème} siècle, avec une communauté humaine sans cesse plus nombreuse et aspirant à plus de démocratie, on est en droit de se poser la question de savoir si ce ne serait pas plutôt une réponse d'ordre organisationnelle (nouvelles pratiques et transparence dans le partage d'informations) qui constituerait notre chance de survie. A trop vouloir relier les notions de productivité et de croissance à l'efficacité thermodynamique, on demeure prisonnier de la seule constante énergétique (ce qui nous rend vulnérables) pour évaluer la performance de nos sociétés hyper-industrielles, sans

considérer les notions de comportement individuel et collectif, les influences culturelles dans le choix de développement, etc.

Si les échanges autour de ces enjeux sont croissants entre la communauté scientifique et les sphères publiques et privées de décideurs, la société civile témoigne en parallèle d'un intérêt et d'une capacité croissante à appréhender les enjeux et à vouloir interférer dans le débat public sur ces nouveaux choix de société (énergie et gaz à effet de serre, alimentation et génétique des plantes et des animaux, santé et toxicité, etc.). Cette revendication légitime est par exemple palpable à travers les processus et discussions des dernières années en France : le Grenelle de l'Environnement, la Conférence environnementale, etc. bien que le débat soit souvent « confisqué », selon certains détracteurs, et resserré à un simple échange « experts-décideurs ». Du point de vue de l'action et des résultats concrets qui pourraient en découler, on en reste encore souvent au stade des seules volontés (plans, stratégies, orientations, etc.) et le passage du diagnostic à l'action reste difficile, quel que soit le sujet considéré.

Sans être exhaustive, les raisons qui peuvent expliquer en partie cette difficulté de la conduite du changement nous renvoient directement à des réflexes profondément ancrés dans nos sociétés occidentales :

- Une résistance générale et individuelle au changement : l'inconnu fait naturellement peur et il est souvent plus confortable à court terme de rester et d'évoluer dans son domaine de confort, sans remettre fondamentalement en cause son comportement (résistance au changement). Si la communauté scientifique semble aujourd'hui s'accorder sur des scénarii somme toute alarmants, les actions aujourd'hui entreprises relèvent davantage de la « réaction » : des « ré-actions » conceptualisées par la logique « end of pipe » qui concentrent la réglementation sur la mise en œuvre des systèmes de traitement des polluants en bout de chaîne dont la liste croît à mesure que s'étendent nos champs de connaissances ; des « re-actions » faisant écho au « toujours plus de la même chose » de Watzlawick par lesquelles on s'obstine à apporter aux problèmes globaux toujours plus de solutions techniques sans se poser la question de leur adaptation réelle aux enjeux environnementaux sociaux et économiques locaux. (Barouch, 1989) ;
- Notre héritage quant à notre rapport à la technique qui, selon Descartes, nous a délivré des autres éléments constitutifs de la Nature que nous nous devons de maîtriser, et qui par la notion de progrès a permis à notre espèce de gagner en termes d'espérance et de confort de vie (une aisance principalement matérielle), tel que le suggèrent Bourg et Papaux (2010). Or, l'étude des interactions, nombreuses et complexes, entre l'Homme et la Nature constituent des enjeux fondamentaux de recherche (Jorgensen *et al.*, 2012) ;
- Notre utilisation de la ressource basée sur une vision et une conception de l'abondance des ressources naturelles et notre dépendance extraordinaire aux sources d'énergies fossiles (pétrole, gaz, charbon), piliers de notre modèle actuel de fonctionnement ;
- Une approche d'amélioration et d'optimisation principalement centralisée (*top-down*) envisagée par secteurs (héritage partiel de l'Etat Régalien).

Dans un contexte de foisonnement des initiatives pour engager nos sociétés industrielles vers une nécessaire transition socio-écologique, la plupart des démarches d'optimisation de gestion des ressources semblent en effet aujourd'hui être principalement appréhendées et développées de

manière assez segmentée au sein de sous-systèmes cloisonnés : la ville souhaite devenir durable, l'agriculture devenir raisonnée ou biologique, l'industrie devenir éco-industrielle, etc. L'ensemble de ces sous-systèmes dont nous verrons qu'ils sont constitutifs d'un territoire, et les secteurs économiques qui les composent, développent leurs propres initiatives d'amélioration, de comptabilité des flux, etc. Pour ce faire, les acteurs de ces différents sous-systèmes mobilisent des concepts et des corpus de pensée (écologie urbaine, agro-écologie, etc.) qui leur sont propres. Parfois ces corpus de pensée sont convergents, mais les initiatives pour dresser des passerelles restent encore rares. Ce cloisonnement, en cherchant à améliorer de façon isolée chacun des sous-systèmes, favorise des transferts d'impacts.

- Dans les politiques de ville durable, on constate souvent une relative déconnexion des activités urbaines avec les ressources locales, les flux d'eau (premier flux en masse consommé en milieu urbain), d'énergie et de matériaux de construction, étant produits et acheminés depuis l'extérieur du système urbain (Barles, 2009 ; Barles *et al.*, 2011) et les rejets (émissions atmosphériques, effluents, déchets solides) étant généralement émis vers l'extérieur du système urbain. Les recherches ainsi que les politiques publiques portent souvent sur le seul périmètre urbain (Pinheiro-Croisel, 2014 ; Masbounji *et al.*, 2014 ; Nevens *et al.*, 2012) et visent à en décrire le métabolisme (circulation de flux de matières et d'énergie) (Kennedy *et al.*, 2007) et à en améliorer le fonctionnement interne sans toutefois réinterroger les liens de ce système urbain avec son environnement, hormis à travers l'analyse du sous-système alimentaire et des flux associés d'azote et de phosphore (Billen *et al.*, 2007).
- L'optimisation de la gestion des flux liés aux activités industrielles se concentre sur le procédé et/ou le parc industriel et tente d'y apporter des solutions pour en limiter les niveaux de rejets (*cleaner production*) ou en faire des sites exemplaires (éco-parc) (Boix *et al.*, 2012). Néanmoins, face à la multiplication de parcs industriels à travers le monde (Massard *et al.*, 2014) se revendiquant vertueux dans leurs pratiques et leurs innovations, Lowitt et Côté (2013) émettent un point de vigilance à avoir quant à ceux pouvant réellement être considérés comme des parcs éco-industriels, notamment au regard de leur capacité à restaurer ou à compenser des services écosystémiques dégradés par les activités industrielles présentes.
- En ce qui concerne l'agriculture, l'approche consiste à considérer le périmètre agricole (Baumgartner *et al.*, 2011), à travers la seule appréciation des rendements du système en produits commercialisables, en déconnexion avec les caractéristiques locales (exemples des problèmes environnementaux liés aux rejets dans les installations hyper-spécialisées en élevage en Bretagne ou réticence quant à la valorisation de déchets urbains, sources potentielles de fertilisation des sols et des cultures). L'agro-écologie et l'agro-foresterie tendent ainsi à retrouver une forme autosuffisante de la gestion des ressources à l'échelle des fermes, à l'instar du modèle des systèmes de polyculture-élevage largement répandu avant le 20^{ème} siècle (Lhoste, 2004 ; Moreau *et al.*, 2012 ; Nielsen, 2007 ; Ometto *et al.*, 2007 ; Servigné, 2012). Aujourd'hui, le bouclage peut se faire au niveau technique en utilisant les rejets et les sous-produits dans le territoire, voire directement dans la ferme de production. Plusieurs projets de microalgues ou de biométhanisation, et plus globalement de bioénergies (Tritz, 2013) visent ainsi à réinscrire les filières aquacoles et agricoles dans un territoire.

Ce cloisonnement sectoriel et fonctionnel dans l'approche de la gestion des ressources est souligné et critiqué par un nombre croissant de contributeurs scientifiques dans plusieurs domaines évoqués précédemment. Baret *et al.* (2013) et Calame (2012) invitent par exemple à adopter une approche davantage basée sur l'interdisciplinarité pour aborder et dépasser les verrous actuels de régimes socio-techniques des systèmes alimentaires en transition. Olazabal *et al.* (2012) préconisent également une approche pluridisciplinaire pour aborder et étudier les transitions en cours et à venir en milieu urbain. Billen *et al.* (2012) soulignent l'intérêt des approches multidisciplinaires dans l'étude des dynamiques socio-écologiques de territoires. L'ADEME et le MEDDE (2015) invitent également les acteurs de différentes échelles à mieux articuler leurs réflexions stratégiques et leurs actions (dans une logique de décloisonnement spatial et institutionnel) pour concrètement repenser les villes dans la société post-carbone.

A ce titre, il convient de souligner l'importance du cadre heuristique et méthodologique développé par Ostrom (2009) pour aborder l'étude des systèmes complexes socio-écologiques, divisés en quatre différents éléments résumés ainsi : le système de ressources, l'unité de ressource (correspondant aux parties individualisées du système de ressources), le système de gouvernance et les acteurs (utilisateurs). Ce cadre analytique a été développé pour comprendre l'évolution des systèmes socio-écologiques et surtout pourquoi certains systèmes parviennent à perdurer quand d'autres s'effondrent. A ce titre, Ostrom (2009) introduit deux notions supplémentaires importantes pour appréhender et analyser les systèmes socio-écologiques : les différentes interactions (matérielles et immatérielles) qui s'établissent entre acteurs et les conséquences (économique et écologique) de ces interactions sur le fonctionnement et la pérennité des systèmes étudiés.

Notre difficulté à appréhender et concrètement préserver les écosystèmes naturels réside peut-être aussi dans le fait que l'Homme ne se considère plus comme faisant partie intégrante de cet écosystème. L'indépendance progressive vis-à-vis de la nature a été l'objectif d'évolution de nos sociétés, décrite par Clark (1993), de l'agriculture à l'industrie puis au tertiaire, en passant de la vie majoritairement à la campagne à la vie urbaine. Cette déconnexion à la fois géographique et cognitive, progressive et constante de l'Homme et de la Nature nous a fait oublier nos interactions utiles avec elle. Il en résulte que l'homme « urbain » ne se considère plus comme faisant partie intégrante de la nature. Il ne connaît ou ne reconnaît plus sa dépendance aux écosystèmes. En parallèle, il y a une idéalisation des sociétés paysannes ancestrales ou « primitives » dont on a tendance à oublier qu'elles n'ont pas toutes perduré (Diamond, 2006).

Complexité, résilience, changement, maturation, enjeux de la transition écologique

- ***Développement durable et systémique***

Depuis les années 1990, et notamment suite à la généralisation du concept de développement durable à l'issue du Sommet de la Terre de Rio de Janeiro, le terme « durabilité » (ou « soutenabilité », par traduction du terme anglais) s'est progressivement imposé dans les discours politiques, les recherches académiques, les stratégies développées au sein des organisations ou sur les territoires. La recherche de durabilité semble être devenue l'objectif qui mobilise. Le but affiché

est rien de moins que d'assurer la pérennité de la société humaine (au sens biologique, économique et social), en respectant les grands équilibres notamment en veillant à préserver un environnement viable et en s'appuyant sur une organisation sociale plus équitable. Cette quête de la durabilité génère une transition entre notre situation actuelle et celle espérée à terme. On voit ainsi poindre aujourd'hui régulièrement les termes de transition énergétique, transition écologique, transition socio-écologique mais également de résilience (Holling, 1973), d'adaptation, de vulnérabilité, etc. Autant de termes cherchant à qualifier l'état d'un système complexe, soumis à un grand nombre d'aléas internes et externes dans cette quête de durabilité.

Lenoir (2012) définit la crise planétaire actuelle comme systémique. Il légitime l'utilisation de la systémique comme discipline, fondée sur les « concepts majeurs de boucles, de rétroaction et de régulation », pour appréhender les enjeux actuels car elle permet de considérer le système dans sa globalité, composé de sous-systèmes tous liés les uns aux autres et interagissant en continu. La systémique permet en effet d'étudier les relations et les échanges entre différents composants (ou sous-systèmes) d'un système complexe, en attachant plus d'importance à l'analyse du fonctionnement global du système étudié qu'à celui des sous-systèmes le composant. Cette approche, basée sur une vision téléologique, s'attache à caractériser les différents niveaux d'organisation du système, les états de ce dernier (stabilité, changement, etc.), les facteurs endogènes et exogènes pouvant le perturber et les boucles logiques et rétroactives dans sa dynamique (Le Moigne, 1994 ; Donnadieu et Karsky, 2002). Ce qui marque une différence d'approche certaine avec l'approche dominante (analytique et cartésienne) qui considère l'étude d'un système à travers un découpage de l'analyse de chacun des sous-systèmes le constituant. Lenoir et les auteurs qu'il cite, comme fondateurs de l'approche systémique (von Bertalanffy et Wiener et Le Moigne), considèrent de plus que « le tout ne se réduit pas à la somme des parties » et qu'il peut être davantage que cette seule somme, sur un plan quantitatif mais également sur un plan qualitatif. « Plus tard, Edgard Morin aura montré le rapport de dépendance entre la dimension systémique [...] et sa complexité : plus un système est complexe, plus notre démarche pour le connaître devrait mobiliser des savoirs différents. La systémique est foncièrement un regard interdisciplinaire posé sur le monde » (Lenoir, 2012). Dès lors, on perçoit bien l'intérêt que peut représenter la systémique (basée sur l'interdisciplinarité) dans l'étude du fonctionnement et de l'évolution de nos sociétés actuelles.

- *Complexité et résilience, hypothèse cadre de notre recherche*

Nul besoin de faire ici un nouveau plaidoyer pour une approche pluridisciplinaire, appelée aujourd'hui par une grande diversité d'acteurs économiques, politiques ou scientifiques dans l'appréhension, l'analyse et la résolution de problèmes. Néanmoins, ce que note Lenoir par la suite est intéressant : évoquant l'effet domino, il écrit « plus un système est complexe, plus il est sensible à la moindre variation [...] ». Il convient de préciser la différence entre résistance et résilience, notamment à travers le comportement pendant une crise : un système résistant à une perturbation continue de fonctionner même en condition partiellement dégradé, et il ne subit pas de changement structurel majeur. Un système résilient absorbe la perturbation, se désorganise et peut cesser ponctuellement de fournir des services, mais il est jugé résilient car en capacité de refournir ces

services en se restructurant une fois la perturbation passée. Ce que Lenoir indique donc à travers ce propos sur l'effet domino, c'est que toutes les perturbations sont liées, et que dans le cas où le niveau de résistance (c'est-à-dire, de non dommage des services structurels) est dépassé, alors il peut y avoir des déstructurations induites. On oppose donc ici une complexité « mécanique », qui n'a pas ou peu de tolérance ou de capacité d'adaptation à travers chacun de ses éléments constitutifs, et une complexité « écologique » ou « biologique », dans laquelle chaque élément est davantage tolérant et en capacité d'absorber des situations de crise. **L'hypothèse défendue dans cette thèse est que, plus un système est complexe et souple, plus sa capacité d'adaptation (et non pas de résistance) aux aléas augmente, de même que son niveau général de résilience.** Cela passe par l'émergence de propriétés nouvelles qui permettent de dépasser l'opposition apparente entre résilience et adaptation. Mathieu (1991) définit la résilience comme la capacité d'un objet (système) à retrouver son état initial après un choc ou une pression continue, donc à rebondir et à récupérer de sa perturbation. Il est intéressant ici de faire une parenthèse sur le fonctionnement des écosystèmes biologiques pour montrer que si le lien entre systémique et complexité est important, celui entre complexité et résilience l'est tout autant.

- *Recours à l'analogie avec les écosystèmes*

En écologie, en termes de fonctionnement, on distingue les systèmes juvéniles et les systèmes matures (cf. Encadré n°1). Les systèmes juvéniles sont caractérisés par une croissance axée sur une exploitation et une consommation non efficaces des ressources générant la production de déchets (Clements, 1916, 1936). Ces systèmes ne sont pas viables dans la durée (Erkman, 2010) et doivent donc évoluer vers un stade qualifié de mature. Les systèmes sont dits matures lorsque cette croissance exponentielle devient un développement basé sur une optimisation de la gestion des ressources par une densification des relations entre les organismes d'un même milieu (Clements, 1916, 1936). Or, pour Bey (2005), l'homme se serait déconnecté du mode de fonctionnement du système naturel, en introduisant l'utilisation de ressources fossiles pour ses besoins énergétiques notamment. Dès lors, ce parti-pris conceptuel pose que l'homme ne tire pas ses lois de la nature mais impose ses lois sur la nature (Isenmann, 2003 ; Cerceau, 2013). Cependant, le phénomène de complexification observé au sein de nos sociétés peut également être vu à travers les nouveaux développements en cours des formes d'application de l'écologie industrielle au sein des territoires, dans lesquels de nouvelles formes d'interactions émergent. Dans la continuité des réflexions d'Edgar Morin sur le lien entre systémique et complexité, on peut donc supposer qu'il existe dans un développement ultérieur un rapport de dépendance entre la dimension complexe d'un système et sa capacité de résilience : plus un système est complexe, plus sa capacité d'adaptation aux aléas est efficace, plus il est dit mature (à contrario d'un système dit juvénile), lui permettant ainsi de (re)trouver une phase d'équilibre nouvelle, incluant ou non des phases intermédiaires et transitoires d'évolution structurelle.

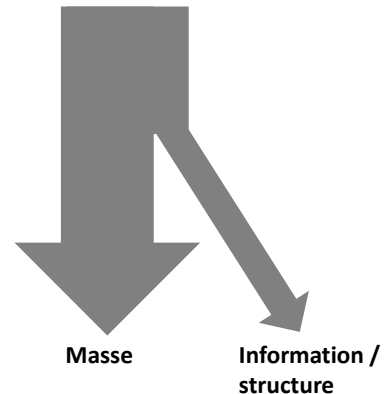
Encadré n°1 : Système juvénile, système mature : définitions et analogie avec les systèmes anthropiques

Un système juvénile, jeune, croissant est caractérisé par un faible niveau de complexité, une forte croissance et peu d'interactions entre acteurs (ou parties) le constituant. Ce système est finalement peu résilient, car souvent monopolistique donc fragile (car s'il s'effondre, tout le reste peut s'effondrer par effet d'entraînement).

C'est un système qui cherche à se spécialiser dans une optique de plus grande production (augmentation de la masse). C'est un système efficace et performant (en termes de flux sortants produits) et qui n'a pas ou peu besoin d'agents de coordination pour créer du lien à l'intérieur du système.

- En agriculture, on peut citer comme exemple un espace agricole de type monoculture céréalière : il n'y a pas d'immobilisation ni de stock excessifs, très peu d'énergie est conservée à l'intérieur du système qui restitue quasiment tout ce qu'on lui donne en intrants (engrais, etc.), malgré tout les pertes dissipatives (énergie, eau, etc., sans compter l'appauvrissement du sol) peuvent être importantes. Ce système exporte donc beaucoup, il est dit ouvert.
- En activité industrielle, on peut citer comme exemple des pôles industriels comme Toulouse qui repose essentiellement sur l'activité aéronautique ou la Vallée de l'Arve qui repose uniquement sur un tissu d'industries spécialisées dans le domaine du décolletage et de la mécanique de précision.

Système juvénile

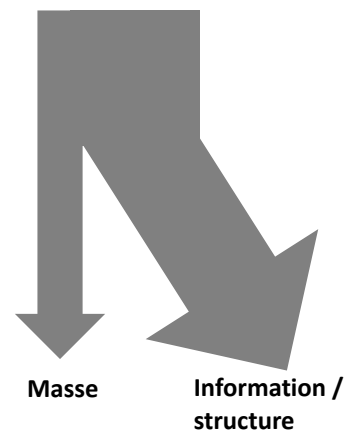


Un système mature ou climatique est caractérisé par une plus forte complexité (beaucoup d'espèces le constituant), une stabilité de la structure et beaucoup d'interactions (échanges d'informations) entre les parties le constituant. Ce système est certes plus résilient quant aux aléas mais cela a un coût notamment énergétique. Le système dit mature exporte moins de sa production mais consomme davantage d'énergie pour maintenir sa structure et les relations en interne entre ses acteurs. D'où le développement, dans nos sociétés humaines en période de transition, d'une importante activité tertiaire et d'agents de coordination (toutes personnes qui ne « produisent » pas directement tels que les élus, les animateurs de territoires, etc.) mais qui arrivent à mettre en relation les acteurs qui « produisent » avec ceux qui « consomment ». Ces agents de coordination, ou acteurs interface, créent du lien à la fois au sein du système et avec le système. Ce dernier exporte toutefois moins que le système dit juvénile, il peut être davantage tourné vers une recherche d'autosuffisance.

En termes de performances, notamment de capacité de production, il peut donc apparaître comme moins compétitif. Il peut avoir des difficultés à s'adapter rapidement mais supporte par contre mieux les aléas sur le long terme car, étant par nature plus diversifié, il ne repose pas sur une activité monopolistique.

L'objectif d'une complexification (gain de maturité) est aussi de rendre possible la disparition d'un élément (maillon) du système, sans risquer de faire basculer ou s'effondrer l'ensemble.

Système mature



Prenons le temps de lire les propos que tiennent Dauphiné et Provitolo (2007) sur la résilience des écosystèmes : « Parmi les facteurs positifs qui augmentent la résilience d'un système soumis à une perturbation, trois sont souvent cités : la diversité, l'auto organisation et l'apprentissage. En écologie, la perte de biodiversité est considérée comme un facteur qui réduit la résilience de l'écosystème. En outre, la résilience systémique est directement proportionnelle à l'auto organisation du système. Les

colonies d'insectes, de fourmis ou d'abeilles, sont de bons exemples de systèmes auto organisés. Peu fragiles, ils ont une grande capacité à se restaurer, car les fonctions des « parties » endommagées sont prises en charge par les autres éléments. Les systèmes auto organisés sont donc très résilients. Enfin, la résilience dépend de la capacité d'un système à s'adapter, ce qui est le cas des sociétés humaines grâce à l'apprentissage. En 1973, C. Holling montre qu'un écosystème résilient est capable d'absorber les effets d'une perturbation ; il persiste sans changement qualitatif de sa structure. Par rapport à l'écologie, les économistes ont souligné que la résilience pouvait adopter deux formes (Berkes et Folke, 1998). La première, la résilience réactive est semblable à la résilience écologique ou mécanique. La seconde, la résilience proactive, fait référence à deux notions, celles de l'apprentissage et de l'anticipation des sociétés humaines sur le futur. Paradoxalement, s'agissant de la stabilité d'une société, sa pérennité passe par le changement.»

Une transition se caractérise par un changement de structure ou de service rendu. Dès lors, on peut douter du caractère réel de transition énergétique aujourd'hui décrite dans nos sociétés, qui n'ont, pour l'heure, pas fait le choix d'un réel changement, sinon d'une évolution du bouquet énergétique, et se reposent encore principalement sur les sources d'origine fossile dans le mix énergétique consommé. Dans le cadre d'étude de la résilience systémique d'un territoire composé d'activités essentielles et caractérisé par différents types d'interdépendances intersectorielles (physiques, géographique, logique, etc.), Rey (2015) a cherché à mesurer le niveau de résilience (capacités d'apprentissage, d'absorption, de résistance, etc.) des fonctionnalités du territoire soumis à différents types de défaillance volontaires (actes de malveillance) ou involontaires (événements climatiques). Dans son analyse, il souligne ainsi une différence fondamentale entre aptitude (potentiel, compétence) et capacité (levier réel, savoir-faire) lors du processus d'adaptation d'un territoire soumis à différents facteurs et aléas.

L'économie circulaire, un levier pour la transition des territoires

Face aux grands enjeux exposés précédemment, il apparaît nécessaire voire urgent de changer de modèle économique, de paradigme et de trouver un mécanisme économique vertueux (Bouleau, 2010) pour découpler la création de valeur, condition même du développement de nos sociétés, de la croissance des flux de matière et d'énergie. Ceci implique de réorienter le système économique vers la prise en compte du long terme afin de relever les défis écologiques, technologiques, sociaux ou encore politiques (Attali, 2013). Une des options qui s'offrent aujourd'hui est d'engager une transition vers un modèle économique plus circulaire mais demeurant nécessairement ouvert (Labbé, 2014), inscrit dans une temporalité moins immédiate, considérant le caractère physiquement limité de la biosphère à fournir à la fois des ressources en abondance (minérales, énergétiques, etc.) et des capacités de retraitement et d'absorption infinis de nos rejets (solides, liquides, gazeux). La transition écologique et sociale de l'économie, présentée par l'UNEP comme l'unique voie permettant de faire coexister croissance économique et préservation de la planète (UNEP, 2011), s'appuie notamment sur l'émergence et l'application d'une économie circulaire qui constitue « un modèle de développement basé notamment sur une réduction et une meilleure réutilisation de nos déchets pour épargner les ressources naturelles » (MEDDE, 2013). Cette logique d'une transition vers une plus grande circularité des ressources, défendue et argumentée économiquement par la

Fondation MacArthur (2013), fait notamment référence aux notions précédemment évoquées de complexité, de résilience et de changement. Depuis 2007, la notion « d'économie circulaire » a ainsi progressivement percé dans le paysage scientifique, opérationnel et politique français comme une réponse à ces enjeux. Elle ne bénéficie pas toutefois d'une définition unique, partagée et consolidée du concept (CGEDD, 2014 ; CGDD, 2014). Elle est en passe de devenir une expression générique désignant un concept économique en faveur du développement durable, s'appuyant principalement sur les notions complémentaires d'écoconception, d'économie de la fonctionnalité et d'écologie industrielle, mais sans remise en cause profonde du modèle économique dominant. Selon l'ADEME (2013), l'ensemble de ces notions convergent sur les objectifs globaux de préservation des ressources naturelles et de diminution des consommations d'énergies non renouvelables, pour tendre vers un système économique sobre en carbone, préservant les réserves foncières, valorisant des gisements de ressources locales et développant de nouveaux services en laissant entrevoir de nouvelles opportunités économiques. C'est d'ailleurs dans ce sens qu'était formulée la définition de l'économie circulaire dans le projet de Loi sur la transition énergétique: « la recherche d'une économie circulaire tend à une consommation sobre et responsable des ressources naturelles et des matières premières primaires ainsi qu'à la réutilisation, en priorité, des matières premières secondaires. La promotion de l'écologie industrielle et de la conception écologique des produits, la prévention des déchets et polluants, la coopération entre acteurs économiques à l'échelle territoriale pertinente, le développement des valeurs d'usage et de partage des produits et de l'information sur leurs coûts écologique, économique et social, contribuent à cette nouvelle prospérité » (amendement n°1965 modifiant l'article L.110.1 du Code de l'Environnement). Indicateur parmi d'autres de cet engouement, notamment en France, le nombre d'articles parus dans la presse généraliste grand public en français, contenant le terme d'économie circulaire, est six fois plus élevé sur la seule année 2014 que sur l'ensemble de la période 2004-2014 (Wang, 2014).

- *L'écologie industrielle et territoriale*

La parution de l'article de Frosh et Gallopoulos (1989) marque l'émergence de la notion d'écologie industrielle qui a permis de rassembler des travaux académiques se basant sur le rapprochement entre écosystèmes naturels et systèmes industriels (Erkman, 1997). En s'inspirant du fonctionnement des systèmes biologiques, l'écologie industrielle et territoriale cherche à optimiser, dans une logique de proximité, le management local des ressources et des déchets en densifiant les interactions entre parties prenantes occupant une même aire géographique ou fonctionnelle (Mat *et al.*, 2014), en optimisant la valeur d'usage des flux de ressources considérés et en limitant les pertes dissipatives (Cohen-Rosenthal, 2004). La Commission Européenne estime que l'optimisation dans l'usage des ressources, tout au long des chaînes de valeur, permettrait une économie de ressources de 17 à 24% en 2030, et représenterait une économie de près de 630 milliards d'euros par an pour l'industrie européenne. Les symbioses industrielles, comme moyens de mise en œuvre de l'écologie industrielle, impliquent des échanges de flux de matières, d'énergie, d'eau, de sous-produits et d'informations, grâce aux opportunités synergétiques offertes par la proximité géographique (Chertow, 2000). En écologie, la symbiose peut qualifier différents niveaux d'interrelations, plus ou moins souhaitées ou subies entre ses parties prenantes : le commensalisme, le mutualisme (bénéfice mutuel), le parasitisme (notamment en biologie), la coopération. van Beneden (1875) indique que,

comprises dans un sens strict, les symbioses ne peuvent pas survivre séparément et ne sont pas non plus nécessairement une association à bénéfices réciproques (rapport « gagnant/gagnant »). Dans son acception anglo-saxonne, la symbiose est une association à caractère plus ou moins obligatoire dans laquelle les avantages et/ou les inconvénients (locaux) entre partenaires sont réciproques et partagés, créant des bénéfices (globaux). Il convient de souligner l'importance d'un climat de confiance entre parties prenantes locales pour partager ces enjeux et envisager des réalisations communes, créant, pour certaines, des relations d'interdépendances durables entre acteurs.

Depuis plus de vingt ans, les débats dans la sphère académique sont intenses autour des notions d'analogie et de métaphore en lien avec les travaux en écologie industrielle, qui se réfère systématiquement et fondamentalement *in fine* aux écosystèmes naturels. Comme l'évoquent Figuière et Météreau (2012), pour arriver à implémenter des structures socio-économiques durables, l'écologie industrielle doit donc rester en accord avec ses « racines » (Bey, 2001) – la métaphore de l'écosystème naturel (Hess, 2009) –, et procéder par étapes. Néanmoins, bien que les enjeux de résilience et de vulnérabilité des sociétés humaines, à travers leurs interactions avec l'environnement, constituent des perspectives clés de l'écologie industrielle (Socolow *et al.*, 1994) et pourraient davantage orienter l'évolution des travaux de recherche actuelle sur les symbioses industrielles (Yu *et al.*, 2013), peu d'articles de la communauté scientifique de l'écologie industrielle traitent finalement de cette question. Ce positionnement de la recherche en écologie industrielle en analogie avec le fonctionnement des systèmes naturels introduit deux postures vis-à-vis du rapport de l'Homme à la Nature. Cerceau (2013) a synthétisé cette différence entre ces postures, en montrant l'incidence que l'adoption d'une ou l'autre de ces postures pouvait avoir sur les travaux de recherche menés :

- une première posture qui considère une continuité entre l'Homme et la Nature, à savoir que les systèmes anthropiques respectent les mêmes lois que les écosystèmes. Cette posture, dite déterministe, réintègre les systèmes anthropiques dans la biosphère et les impose de fait à la finitude du monde (Bourg et Whiteside, 2010). Dans ce cas, on privilégie le développement de méthodes et d'outils qui vont étudier les systèmes naturels pour chercher à transposer leurs règles et modes de fonctionnement aux systèmes anthropiques (biomimétisme, ingénierie écologique).
- Une deuxième posture, dite non déterministe, qui considère les sociétés humaines comme fondamentalement différentes d'une communauté écologique, et qui ne sont donc pas régies par les mêmes lois biologiques et physiques que les systèmes naturels. Cette posture conduit à vouloir isoler au maximum les systèmes industriels du reste de la biosphère (Bey, 2005). Dans ce cas, les travaux de recherche portent sur des méthodes et outils qui permettent de boucler les flux de matière et d'énergie au sein des systèmes anthropiques, en les isolant volontairement des cycles de la biosphère.

En partant du constat que les territoires n'ont pas de trajectoires identiques, du fait des conditions contextuelles de départ mais aussi du cumul des décisions prises, Cerceau (2013) a proposé une troisième posture, davantage intégrative et basée sur l'émergence de propriétés nouvelles, qui résultent de l'auto-organisation des systèmes complexes (Goldstein, 1999), ce qui introduit la possibilité de valoriser les initiatives et innovations humaines sur des aspects techniques ou organisationnels. Ce processus d'optimisation et d'émergence de propriétés nouvelles doit être lu à

l'aune du fonctionnement des systèmes écologiques, réintégrant par là le système anthropique au sein de la biosphère.

En comparant le fonctionnement des écosystèmes et des systèmes anthropiques, Wallner (1999) énonce que le fait de tendre vers une plus grande soutenabilité des systèmes semblent corrélé à l'augmentation de la complexité de ces mêmes systèmes. Wallner (1999) souligne que l'écologie industrielle est un concept qui offre un vrai potentiel pour ré-envisager la structure et l'organisation du système industriel. Pour Larrère (2006), l'analogie sur laquelle repose l'écologie industrielle est solidaire d'une conception systémique de l'écologie, telle qu'elle fut développée par Odum et même si les transformations contemporaines de cette discipline puissent remettre en question ce modèle odumien. Ainsi, Larrère (2006) indique que si les systèmes écologiques fonctionnent bien avec des interactions, des boucles de rétroaction et de recyclage, en revanche, la composition des populations d'espèces de leurs groupes fonctionnels, la structure de ces groupes et donc la dynamique de leurs interactions résultent de régimes de perturbations. C'est pourquoi, en se référant à cette conception dynamique de l'écologie, il s'interroge, par analogie, sur le régime de perturbations qui pourrait conduire les systèmes industriels à fonctionner approximativement comme le font les systèmes écologiques.

L'écologie industrielle, en tant que champ disciplinaire et démarche opérationnelle de terrain, fait l'objet à une échelle internationale de travaux de la communauté scientifique depuis le milieu des années 1990. Du point de vue de l'ADEME, l'écologie industrielle est aujourd'hui définie comme un outil, parmi d'autres (tels que l'éco-conception, l'économie de fonctionnalité, etc.), pour la mise en œuvre d'une économie circulaire (ADEME, 2014). Plus fondamentalement, l'écologie industrielle et l'économie circulaire peuvent différer par leurs échelles d'intervention. L'économie circulaire s'inscrit plutôt dans des stratégies aux échelles nationales, à l'instar de la Loi pour la promotion de l'économie circulaire entrée en vigueur en 2009 en Chine (Lévy et Aurez, 2014). Elle s'inscrit en cohérence avec l'émergence d'un « système-monde », à l'échelle d'un nouvel espace globalisé où l'on considère toute région du monde comme marché potentiel pour cette nouvelle activité humaine qu'est le recyclage des ressources (Buclet, 2011). L'écologie industrielle, quant à elle, s'inscrit davantage à l'échelle locale des territoires, comme l'ont souligné Brulot et Beaurain (2011). Si plusieurs conceptions de l'écologie industrielle coexistent dans le domaine scientifique, il n'en demeure pas moins qu'elle relève d'une démarche territoriale. Elle apparaît davantage comme un processus de construction d'un « système-territoire » productif (Beaurain et Brulot, 2011 ; Cerceau, 2013), que ce territoire soit à vocation industrielle, agricole, urbaine, portuaire ou mixte.

- *La réflexion à l'échelle d'un territoire*

Pour appréhender la mise en œuvre et la stratégie d'une économie à bas-carbone, le raisonnement par sous-systèmes considérés séparément semble représenter une vraie limite. Dès lors, il devient nécessaire, au regard de ces différents enjeux de transition socioécologique au sein des territoires, d'adopter une approche interdisciplinaire et transversale permettant notamment de décroquer les politiques sectorielles (Renault, 2014) pour appréhender l'ensemble des sous-systèmes dans un système global. L'écologie industrielle, de par les nombreux champs scientifiques qu'elle peut mobiliser ou avec lesquels elle peut interagir (économie, sociologie, agronomie, etc.), se prête bien à

cette logique d'interdisciplinarité et peut donc constituer un corpus théorique intéressant pour inscrire et ancrer ces réflexions sur la durabilité des systèmes complexes.

Dans cette logique de pluridisciplinarité, l'écologie industrielle interpelle la notion de territoire en mobilisant différents corpus théoriques et opérationnels (Cerceau, 2013) :

- L'approche géographique: le territoire est un système complexe et évolutif qui associe un ensemble d'acteurs d'une part, l'espace géographique que ces acteurs utilisent, aménagent et gèrent d'autre part. (Moine, 2006).
- L'approche socio-écologique des systèmes: le territoire intègre les différentes composantes constitutives du système socio-écologique décrites par Ostrom (2009) à savoir les acteurs, les ressources, la gouvernance et les infrastructures.
- L'approche fonctionnaliste : dans la continuité des interprétations fonctionnalistes du milieu urbain (Claval, 1997 ; Dureau, 1990 ; Chabot, 1948), le territoire se définit aussi par le rapport que ces composantes entretiennent avec le milieu environnant et ses ressources.
- L'approche opérationnelle : le territoire est un espace au sein duquel s'exerce un pouvoir politique, porteur d'un projet de territoire et appuyé par une administration chargée d'aider à l'élaboration de ce projet puis à sa mise en œuvre par des actions d'aménagement et de gestion encadrées par les normes de l'action publique (Vanier, 2008).

Dans nos travaux de recherche (Mat *et al.*, 2014), nous avons pu constater que les travaux menés en écologie industrielle et territoriale adressent des territoires à vocation industrielle (Chertow, 2007 ; Erkman, 2004 ; Giurco *et al.*, 2010 ; Orée, 2008), agricole (Figuière et Météreau, 2012 ; Illsley *et al.*, 2007 ; Cao *et al.*, 2011), urbaine (Kennedy *et al.*, 2007 ; Barles, 2005 ; Barles, 2010 ; Nevens *et al.*, 2012 ; Olazabal *et al.*, 2012 ; Barles, 2009 ; Meijer *et al.*, 2011), portuaire (Baas, 2000 ; Park *et al.*, 2007 ; Domenech et Davies, 2011 ; Cerceau *et al.*, 2014) ou bien encore insulaire (Chertow *et al.*, 2008 ; Deschenes et Chertow, 2004). Le périmètre d'analyse et de mise en œuvre de l'écologie industrielle et territoriale peut s'inscrire à l'échelle d'un parc éco-industriel (Shi *et al.*, 2012 ; Wang *et al.*, 2008 ; Park *et al.*, 2007), d'une ville (Barles, 2009 ; Fujita, 2011 ; Oliver-Sola *et al.*, 2009), d'une région (Sterr et Ott, 2004 ; Liu *et al.*, 2015), d'une île (Chertow *et al.*, 2008) ou encore à l'échelle d'un bassin versant (Boehme *et al.*, 2009).

S'il semble logique que les conditions de durabilité de l'espèce humaine à l'échelle de la Terre soient débattues à une échelle globale, il n'en demeure pas moins qu'*in fine* la mise en œuvre d'un développement durable se décline et se joue à l'échelle des territoires. Dès lors, de par les proportions qu'ils représentent à plusieurs niveaux, les espaces portuaires constituent des espaces d'importance face à ces nouveaux défis, ce qui justifie notre intérêt pour ces espaces industrialoportuaires comme cadre d'étude des phénomènes de transition et de recherche de durabilité, à une échelle nationale et internationale. Cette thèse a pour ambition de poursuivre la démonstration que les territoires portuaires méritent d'être considérés comme un objet à part entière de recherche et de mise en œuvre de l'écologie industrielle et de l'économie circulaire (Mat *et al.*, 2012 ; Cerceau *et al.*, 2014). Jusqu'à présent, les territoires portuaires n'ont été considérés qu'à titre de cas d'études parmi d'autres (Baas, 2000 ; Park *et al.*, 2007 ; Boehme *et al.*, 2009 ; Fleig, 2000), sans souligner à proprement parler les opportunités spécifiques qu'offre ce type de territoires en termes d'écologie industrielle. Dans sa dimension territoriale, l'écologie industrielle a pour vocation de décloisonner, et considérer le système territorial dans son ensemble, en prenant en compte l'ensemble de ses

composantes urbaines, industrielles, agricoles, touristiques et naturelles, autant de composantes (ou sous-systèmes) que l'on retrouve aisément dans l'analyse des espaces côtiers. Il est d'ailleurs intéressant de constater que l'une des premières démarches d'écologie industrielle, parmi les plus reconnues sinon la plus documentée à l'échelle internationale – la symbiose industrielle de Kalundborg – ait été opérée sur un territoire industrialo-portuaire. Hormis les éléments de contexte locaux particulièrement favorables à l'émergence de cette dynamique d'écologie industrielle au niveau de Kalundborg (Larrere, 2006), cela ne semble pas non plus être une simple coïncidence eu égard aux nombreux enjeux forts (d'ordre économique, social, environnemental, politique, etc.) auxquels sont confrontés ces territoires (Mat *et al.*, 2012).

Les espaces industrialo-portuaires sont emblématiques des enjeux actuels à la fois globaux et locaux

- ***Introduction au fait portuaire, un espace singulier mais représentatif de nos sociétés actuelles***

Du point de vue économique, les territoires portuaires constituent des espaces essentiels aux échanges régionaux et mondiaux (Sur *et al.*, 2014), en s'appuyant sur le trafic maritime, comme prolongement naturel des trafics intérieurs (fluvial, routier, ferroviaire). C'est en effet souvent aux abords des fleuves et aux estuaires que des communautés humaines ont commencé à s'installer, à développer des techniques (depuis l'artisanat jusqu'aux grandes industries) et le commerce (du local au global). Plusieurs facteurs (logistique maritime permettant l'accès à des ressources lointaines, ouverture des marchés, concentration d'élites marchandes, disponibilité de la main d'œuvre, etc.) expliquent le fait que les industries se soient particulièrement développées en milieu portuaire. Ce processus a accompagné l'ouverture des systèmes d'approvisionnement, et s'est progressivement détourné, par voie de conséquence, de systèmes d'organisation et de fourniture plus locaux (énergétiques, minéraliers, agricoles, etc.).

De plus, les territoires portuaires renferment des spécificités sociales et culturelles, à de multiples points de vue :

- démographique : melting pot, creuset d'une mixité humaine elle-même fruit des flux migratoires d'immigration et d'émigration ;
- politique : les idées arrivent aussi par les ports, bénéficiant des flux migratoires des humains et des flux d'informations qui s'y concentrent ;
- sanitaire : bien souvent, dans l'Histoire, les maladies sont arrivées par les ports, à l'instar de la peste par exemple, qui a décimée une grande partie de la population européenne au Moyen-Age ;
- transgressif à travers la criminalité (des « territoires de l'illicite » selon Figeac-Monthus et Lastécouères, 2012; Monnet, 2004) ou la culture et l'art (le tango est né dans l'arrière-port de Buenos Aires, le courant impressionniste a débuté avec les œuvres de C. Monet au Havre, etc.).

Enfin, l'espace côtier, situé à l'interface entre la terre et la mer, possède des richesses aussi nombreuses que fragiles (halieutiques, biologiques, minérales, paysagères, hydrauliques...).

Les territoires portuaires sont ainsi singuliers et quelques chiffres clés suffisent à souligner l'importance qu'il convient d'accorder au rôle de ces espaces dans le cadre des politiques et stratégies actuelles de développement durable développées au sein des pays dotés d'une façade maritime ou fluviale :

- En 2014, 53% de la population mondiale est située en zone urbaine (Banque Mondiale, 2015) or 60% de la population urbaine vit sur des zones côtières et cette proportion devrait encore augmenter d'ici 2020 (Vallega, 2001).
- La plupart des concentrations urbaines actuelles et à venir sont et seront situées sur des zones côtières ou bien sur des axes fluviaux (Chasteland *et al.*, 2002) : sur 100 villes de plus de 500 000 habitants réparties dans les différentes régions du monde, 52 sont situées en bordure de mer et 20 autres le long des fleuves ou des rivières.
- 90% du commerce extérieur de l'Union Européenne est assuré par le transport maritime (UPF, non daté). La mondialisation a accru l'importance stratégique des enjeux maritimes et la concurrence entre pays (Lorgeoux *et al.*, 2012), notamment en termes d'accès aux ressources naturelles, se joue à terre mais également en mer, à travers la géopolitique des océans et le partage des ressources sous-marines (hydrocarbures et énergies renouvelables, ressources minérales, réserves halieutiques, etc.). En outre, le maritime reste un vecteur majeur dans le transport d'énergie (charbon, gaz naturel liquéfié, pétrole, biomasse) à l'échelle internationale.

A la fois cause et conséquence, leur évolution historique est marquée, à partir de la moitié du 20^{ème} siècle, par la concentration d'activités industrielles « lourdes » (aciéries, pétrochimie, etc.). Cette dynamique industrielle côtière, qui contribue jusqu'à 25% de la production primaire mondiale, renvoie à l'autre enjeu de ces territoires : faire co-exister des activités à fortes nuisances au sein de territoires anthropisés (usages urbains et agricoles) et naturels (présence d'écosystèmes littoraux fragiles et protégés telles que les zones Natura 2000 ou les réserves naturelles).

Les principales villes et mégalo-poles situées sur des espaces littoraux connaissent, notamment en Asie et en Afrique depuis 30 ans, des niveaux d'expansion démographique sans équivalent, entraînant des impacts conséquents sur leur environnement (terrestre et maritime). A la fois territoires interfaces entre la mer (avant-pays maritime) et la terre (hinterland), ces espaces concentrent une très forte densité de flux de matières et d'énergie, cristallisent des tensions croissantes entre différentes finalités d'utilisation du foncier (urbain, industriel, agricole, pêche, tourisme) et doivent gérer des problèmes de pollution multiples et à grande échelle. Ces sources de pollution peuvent être diffuses, locales mais aussi situées en amont car ces territoires sont souvent en situation d'exutoires (estuaires, baies), et drainent des pollutions provenant de bassins versants très étendus. Ces rejets peuvent alors impacter fortement ces espaces qui s'inscrivent dans des milieux littoraux fragiles (FNAU, 2009), comme en France où les grands espaces naturels représentent 23% du linéaire côtier (UPF, non daté).

La France, qui est dotée d'une large façade maritime (plus de 3 400 km de bande littorale en métropole), illustre bien cette tendance globale. Les cantons littoraux (Corse non comprise) accueillent 7 millions de résidents, soit 11,8 % de la population métropolitaine sur seulement 6 % du

territoire (Observatoire du Littoral, 2006). L'attractivité de ces espaces, dont la croissance de population est supérieure à celle observée au niveau national induit une densité de population particulièrement élevée (315 habitants par km²), trois fois supérieure à la moyenne nationale. Par voie de conséquence, cette densité de population entraîne un niveau élevé d'artificialisation des sols au niveau du littoral (

Figure 2), au détriment direct des terres agricoles et des milieux naturels (Figure 3).

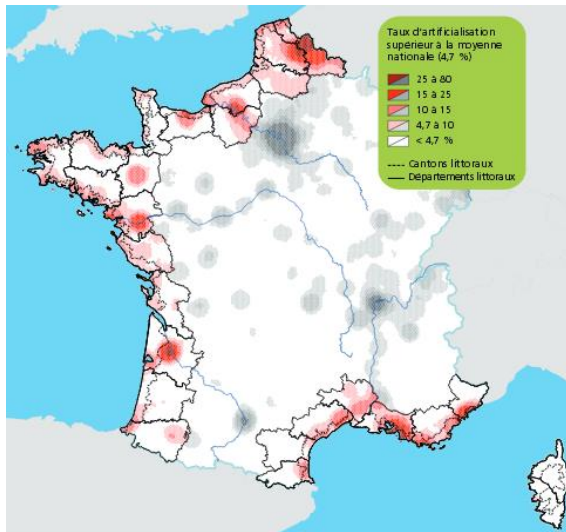


Figure 2 – Niveau d'artificialisation du territoire métropolitain en 2000 (UE-Ifen, CORINE Land Cover, 2000)

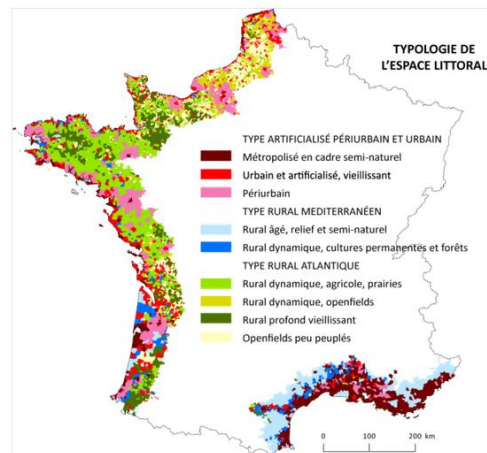


Figure 3 – Typologie des espaces ruraux et des espaces à enjeux spécifiques (littoral et montagne). Source : UMR CESAER (Inra/AgroSup Dijon), l'UMR Théma (Université de Franche-Comté/CNRS), l'UR DTM (Cemagref) et l'UMR METAFORT (AgroParisTech/Cemagref/Inra/VetAgroSup) pour le compte de la DATAR, novembre 2011

Ces chiffres clés présentés dans le cas français illustrent par leur ordre de grandeur l'importance qu'il convient d'apporter à la gestion de ces territoires au point de vue de la gestion des ressources. Le trafic de marchandises chargées ou déchargées dans les ports français a atteint 353 millions de tonnes en 2011, soit environ 4 % des échanges maritimes mondiaux (Observatoire national de la mer et du littoral, 2011). Les produits pétroliers constituent l'essentiel de ce trafic (40 % des tonnages), suivis par le vrac solide, le trafic de rouliers et les conteneurs.

La France métropolitaine est dotée de plusieurs dizaines de ports de commerce, de pêche et de plaisance (UPF, non daté). Néanmoins, les 7 grands ports maritimes (Dunkerque, le Havre, Rouen, Nantes – Saint-Nazaire, La Rochelle, Bordeaux et Marseille) concentrent à eux seuls 78 % du trafic de marchandises, tel que représentés sur la Figure 4. Bien que leurs trafics soient inférieurs aux trois principaux ports européens (Rotterdam, Anvers et Hambourg), les quatre « Grands Ports Maritimes » métropolitains (Marseille, le Havre, Dunkerque et Nantes) se situent parmi les 25 plus grands ports européens (Observatoire national de la mer et du littoral, 2011). Ces quatre Grands Ports Maritimes représentent en 2007 près de 100 000 emplois directs et indirects cumulés (FNAU, 2009)

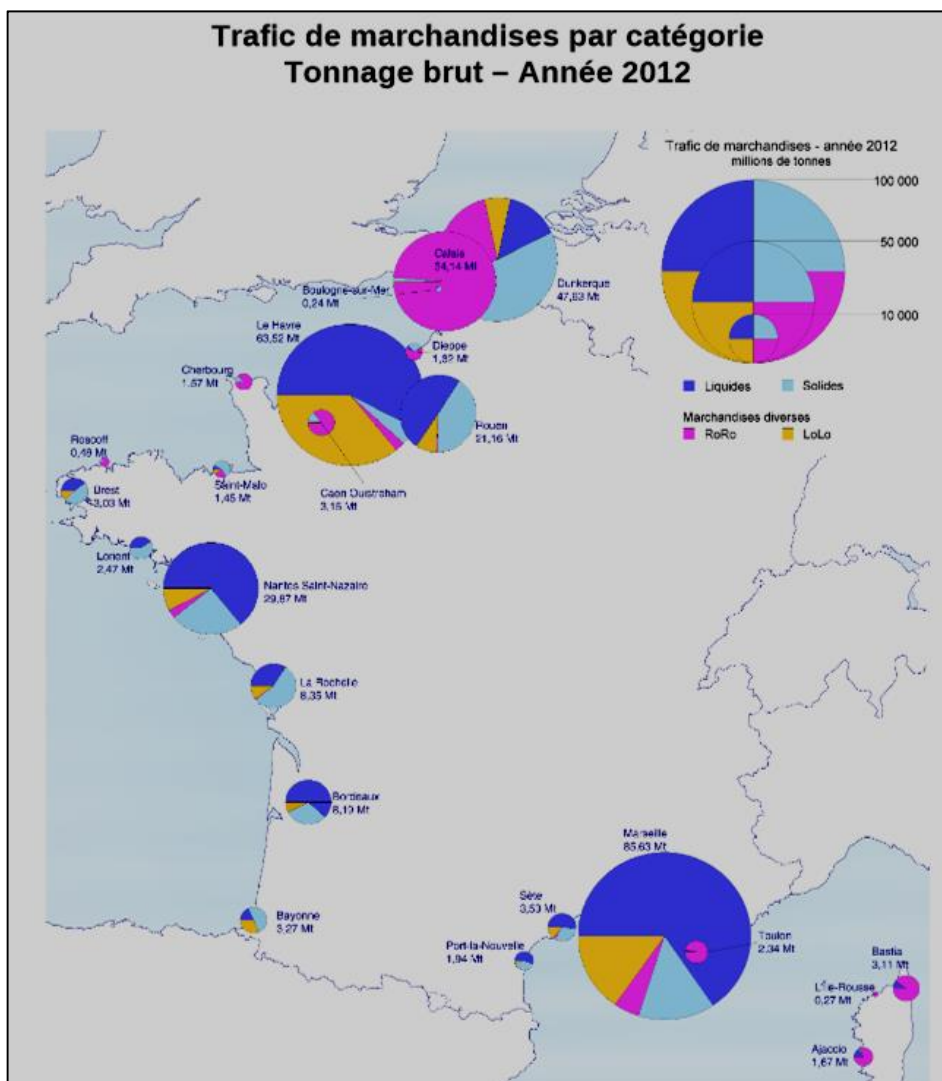


Figure 4 – Trafic de marchandises par catégorie, tonnage brut 2012 (source : Observatoire national de la mer et du littoral)

- *Les ports au cœur des enjeux de la transition énergétique et des territoires*

Les espaces industrialo-portuaires constituent, dans un contexte d'échanges mondialisés, des éléments essentiels du modèle socio-économique actuel basé sur une énergie abondante, disponible et à faible coût. Le niveau de dépendance énergétique de l'Europe devrait atteindre 65% en 2025, dont 80% pour le gaz (Ipemed, 2013), souvent présenté comme une des énergies clés de la transition énergétique. Pour les pays dotés d'un accès à la mer, ces territoires constituent en effet les points de passage privilégiés pour les principaux flux de matières et d'énergie. Ces territoires sont confrontés à des phénomènes et contraintes exogènes (changements climatiques, évolution des stratégies industrielles, etc.) qui leur imposent de s'adapter continuellement, afin de rester compétitifs dans le jeu mondial de la concurrence (Merk, 2013), mais également de limiter leur vulnérabilité locale et ses conséquences (délocalisation et pertes d'emplois, secteurs industriels et urbains sinistrés, etc.). La problématique énergétique est ici un véritable enjeu, eu égard à la baisse des flux énergétiques (en France notamment) due à la conjoncture économique et à la volonté nationale de réduire la facture

énergétique et lutter contre les émissions de gaz à effet de serre (économie bas carbone). Les différents scénarii envisagés par les experts (Tableau 1) pour l'évolution des flux énergétiques (énergie primaire) font ainsi fluctuer les parts relatives des flux d'hydrocarbures, dont on a vu l'importance dans le total des flux gérés par les ports.

| | 2010 | 2050 | | | |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | DEC | DIV | EFF | SOB |
| Charbon | 4,3% | 1,9% | 2,2% | 3,7% | 1,3% |
| Pétrole | 30,6% | 3,4% | 10,6% | 5,5% | 4,9% |
| Gaz | 15,2% | 9,3% | 8,9% | 11,1% | 4,3% |
| Nucléaire | 42,2% | 64,9% | 39,1% | 24,3% | - |
| EnR hors biomasse | 3,0% | 7,5% | 30,4% | 24,8% | 42,8% |
| Biomasse | 4,6% | 12,9% | 8,8% | 30,6% | 46,6% |

Tableau 1 – Scénarii envisagés pour l'évolution des flux énergétiques

Dans ces différents scénarios (Clodic, 2013), les flux d'origine fossile (charbon, pétrole, gaz) diminuent systématiquement, de manière plus ou moins importante, les sources d'énergies renouvelables (incluant les flux de biomasse) et le nucléaire se retrouvent dès lors jouer les variables d'ajustement dans le bouquet énergétique français. Les ports, centres de transfert et de transformation des combustibles fossiles (pétrole, GNL, Charbon), se retrouvent ainsi au cœur de la transition énergétique. Un autre enjeu d'ordre énergétique sur ces territoires reste celui de la disproportion entre les niveaux de consommation et de production locale (par exemple autour de l'Étang de Berre près de Marseille, où le territoire est bien plus grandement consommateur (12,9 Mtep/an) que producteur (1,4 Mtep) et de l'optimisation des rejets (par exemple en Seine Maritime, qui représente 10% de l'industrie française, avec une consommation énergétique de 3,5Mtep/an et des rejets thermiques à valoriser évalués aux alentours de 1,5 Mtep/an).

L'évolution de ces territoires pose aussi régulièrement la question d'un aménagement cohérent de l'espace industrialo-portuaire (Lavaud-Letilleul *et al.*, 2013), confronté aux conflits d'usage des sols et des ressources limitées entre les activités industrielles, portuaires (logistique, pêche, nautisme et tourisme), urbaines, agricoles et naturelles (zones protégées). Face à ces enjeux et conflits multiples, la spécialisation spatiale a constitué progressivement une des conséquences des stratégies de redéploiement des emprises industrialo-portuaires. La ville ne cessant de croître en s'étalant, les zones industrialo-portuaires se sont progressivement éloignées des bassins historiques vers des espaces moins contraignants. Du fait de cette dynamique de déconnexion Ville-Port (Hoyle, 1989 ; Ducruet, 2008) et de l'éloignement des terminaux des centres urbains, les ports sont devenus des

territoires inconnus pour la plupart des citoyens (Lévêque, 2012). Cette expansion géographique des emprises portuaires et urbaines s'est généralement faite au détriment direct des espaces naturels et agricoles, avant l'entrée en vigueur de nouvelles directives de protection des espaces naturels sensibles (Natura 2000, Oiseaux et habitats) et agricoles (Plan Locaux d'Urbanisme, Schéma de Cohérence Territoriale).

Comme le suggère Foulquier (2012), la place portuaire est à l'écoute du monde et s'en fait l'écho. Potentiellement conflictuel, l'espace portuaire compose une scène de gouvernance dont le périmètre varie en fonction des enjeux. Toute la difficulté de sa gouvernance se situe dans cet enchevêtrement permanent du local et du global. Le territoire portuaire est généralement très tourné vers sa dimension maritime. Une réflexion en écologie industrielle peut l'amener à davantage considérer sa dimension terrestre, en s'ouvrant vers la terre et des activités généralement peu envisagées dans le cadre portuaire, notamment l'agriculture. Or, les espaces côtiers à vocation industrialo-portuaire, de par la coexistence et la proximité de plusieurs types d'utilisation des sols et d'activités humaines sont très emblématiques de la problématique du cloisonnement/décloisonnement des approches en termes de gestion des ressources. Après avoir démontré l'intérêt de ces espaces singuliers pour notre analyse, nous nous attacherons à mettre en évidence qu'au-delà d'approches cloisonnées au sein de sous-systèmes spécifiques (industriels, agricoles, urbains), des initiatives industrialo-portuaires tendent à mettre en synergie ces sous-systèmes vers la structuration d'une approche territoriale de la gestion des ressources (ces constats seront illustrés par des initiatives d'écologie industrielle menées en Afrique du Nord, en Asie et en Europe).

B. Périmètre et problématique de recherche

Définition et précision du périmètre d'étude

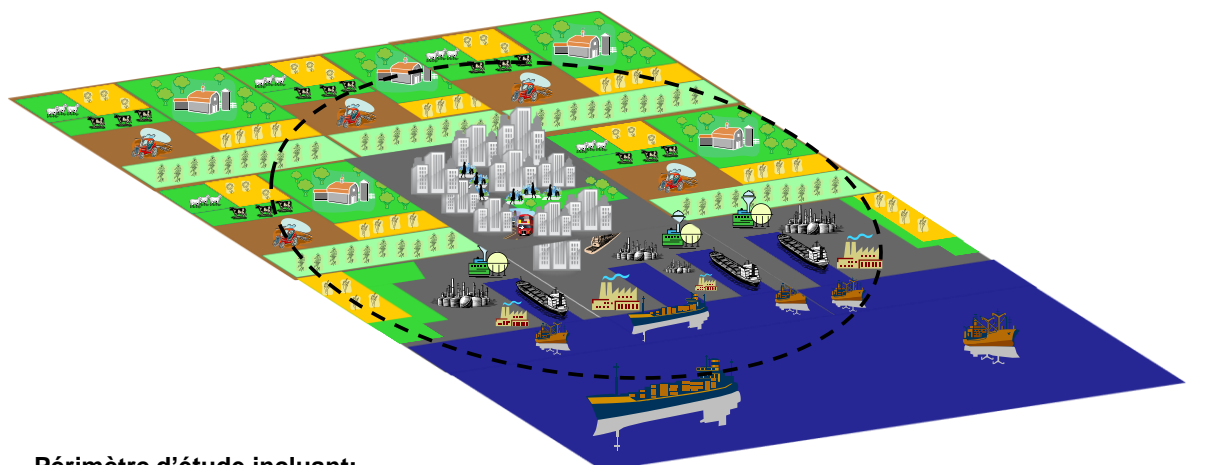
Classiquement, les territoires portuaires (ou espaces portuaires) sont appréhendés spatialement à travers leur dimension fluviale et/ou maritime, corrélée au transport de marchandises et de personnes. Cette dimension est particulièrement investie par la science logistique et par l'économie, ne considérant ces territoires qu'à travers un prisme de fonctions potentielles relativement limité au transport, à la massification et à la dé-massification (Lévêque, 2014). Une autre approche consiste à appréhender ces espaces à travers une vision d'urbaniste-aménageur, dont la plupart des travaux se concentre sur la revalorisation des friches industrielles et sur le lien mystifié entre ville et port. C'est le cas par exemple en Europe où l'on étudie les conditions et raisons d'une séparation croissante, au sens géographique, entre le domaine urbain et le domaine industrialo-portuaire (Hoyle, 1989, Lee *et al.*, 2008). La plupart des colloques et séminaires consacrés à ces territoires se concentrent donc soit à rechercher et discuter les niveaux de compétitivité de ces territoires au sens logistique, étant vus comme un maillon dans un « système-monde » (Cerceau, 2013) ou à ré-envisager et ré-établir un lien à l'interface de ces espaces déconnectés que sont la Ville et le Port. Ces deux approches sont également souvent plébiscitées par les géographes, qui voient en ces territoires des hubs, des nœuds, des espaces dont l'existence même découle du lien qu'il est fait entre l'hinterland et le

maritime, voire entre places portuaires à une échelle internationale, principalement par le fait des flux logistiques (Van Klink, 1998).

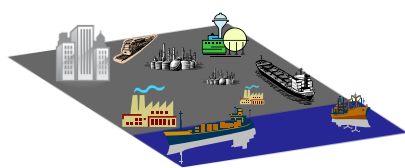
La plupart des travaux sur les relations entre ports et villes portuaires soulignent la dissociation spatiale et fonctionnelle contemporaine, mettant fin à une symbiose séculaire voire millénaire selon les cas (Ducruet, 2008). Dès lors, les systèmes urbains et portuaires tendent à s'autonomiser, dans une recherche propre d'un optimum de manière séparée : recherche d'une accessibilité et d'une productivité maximale par les opérateurs du transport et de la logistique d'un côté, stratégies urbaines de croissance tertiaire et industrielle de l'autre (Ducruet, 2008). Ces deux dynamiques peuvent être confortées dans leur incompatibilité par des impératifs environnementaux qui accélèrent la distanciation entre ville et port (Ducruet, 2008). Or, malgré la distanciation spatiale croissante entre espaces urbains et infrastructures portuaires au niveau local, l'interdépendance fonctionnelle peut demeurer au niveau métropolitain (Ducruet, 2005). Le port comme l'aéroport restent des fonctions urbaines parmi d'autres, même si elles ne se localisent pas au centre-ville mais aux abords des quartiers périurbains, et rayonnent sur des espaces bien plus vastes que les seules agglomérations (Ducruet et Lee, 2006).

L'ensemble de ces recherches portent donc principalement sur le lien ville-port et sur les dimensions fluviales et maritimes de ces territoires. En l'état actuel de ces recherches, il n'apparaît pas de réelle prise en compte de ces territoires dans l'ensemble de leurs composantes (industrielles, agricoles, logistiques, naturelles, urbaines), peut-être du fait de leur complexité, qui intègreraient également la composante agricole, avec laquelle il conviendrait d'interagir au point de vue de la gestion des ressources et notamment concernant le bouclage de flux, de nutriments par exemple. En outre, l'introduction de la composante agricole permet de dépasser la seule notion de « ville-port » pour atteindre une réelle dimension de « territoire ou espace portuaire ». Rappelons à ce titre que certains hinterland agricoles (tels que les espaces dédiés à la production céréalière) sont intimement liés et dépendants de la fonction portuaire pour leur approvisionnement (fertilisants, etc.) et leur export de production de céréales (Duszynski, 2015).

Si les territoires industrialo-portuaires sont difficiles à appréhender dans leur complexité, Foulquier (2012) attribue en grande partie cette complexité à l'appropriation géographique de l'espace portuaire qui est un espace à géographie plurielle, situé à la confluence de réseaux maritimes et terrestres, au service tout à la fois de l'économie locale et de celle du monde. Ces territoires intègrent en effet (Figure 5) des composantes urbaine, industrielle et agricole (auxquelles s'ajoute également l'espace naturel environnant), elles-mêmes engagées à leur propre échelle dans des politiques de développement durable. Cette mosaïque de sous-systèmes, construction intellectuelle utilisée ici pour représenter schématiquement la complexité, constitue le périmètre du système (territoire) industrialo-portuaire considéré dans le cadre de ce travail de recherche.



Périmètre d'étude incluant:



Sous-système industrialo-portuaire



Sous-système urbain



Sous-système agricole

Figure 5 – Périmètre d'étude du territoire industrialo-portuaire

Les territoires industrialo-portuaires français ne font en effet pas exception à la tendance observée à l'échelle internationale : l'engagement et les initiatives en termes d'optimisation de la gestion des ressources sont d'abord réfléchies, implémentées et analysées de manière segmentée par sous-systèmes : industriel, urbain, agricole, touristique (Collectif, 2013; Mat *et al.*, 2014). Des démarches de type « ville durable », « agriculture soutenable ou biologique », « parcs éco-industriels », etc. sont menées en parallèle, de façon souvent indépendante et ne communiquant que peu entre elles, ces différents sous-systèmes rassemblant eux-mêmes les multiples aspects constitutifs d'un système socioécologique. Par ailleurs, on constate une spécialisation croissante des activités au sein même de ces différents sous-systèmes. Sur la ZIP de Fos sur Mer, par exemple, et plus globalement sur le pourtour de l'Etang de Berre, les échanges de flux de matières et d'énergie se sont développées de longue date au sein et entre les filières chimiques, pétrochimiques, sidérurgiques et énergétiques. Les frigorifiques générées par le terminal méthanier de Fos Tonkin sont par exemple revalorisées par le site industriel d'Air Liquide (production d'azote), situé à proximité, qui lui-même renvoie un flux énergétique « chaud » utilisé dans le processus de regazéification du GNL opéré par Elengy.

On peut craindre que cette approche unique basée sur la seule optimisation de chacun des sous-systèmes ne permette finalement pas de relever les défis qui se posent. **Pour atteindre un optimum écologique et économique, faut-il continuer à traiter de manière isolée ces différents sous-systèmes, en cherchant à les optimiser ou existe-t-il un intérêt à davantage faire co-exister et collaborer ces différents sous-systèmes (Figure 6) composant l'espace portuaire ?**

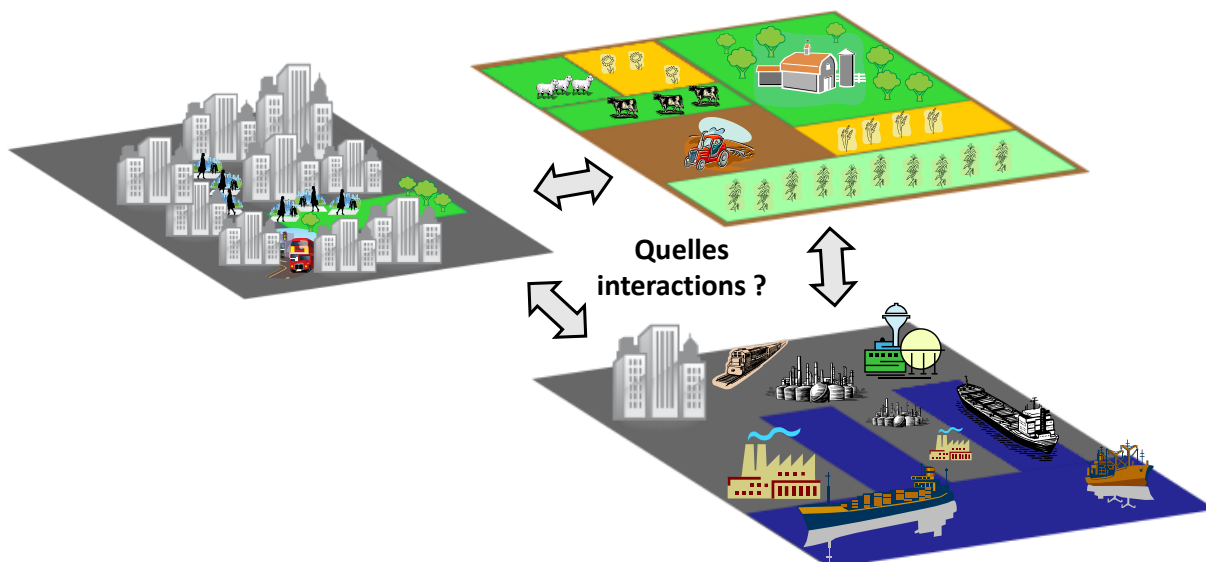


Figure 6 – Logique d’interactions entre sous-systèmes constitutifs du territoire industrialo-portuaire

Ces sous-systèmes, considérés dans le cadre de politique de développement et d’aménagement de manière autonomes, sont en réalité poreux et en interaction étroite avec des systèmes extérieurs à leur périmètre. Cette porosité et interaction permanente laisse entrevoir l’intérêt de la coopération et d’une juste articulation entre les différents sous-systèmes des espaces portuaires.

Les trois différents sous-systèmes considérés dans le cadre de notre périmètre d’étude sont abordés à travers le cadre conceptuel des systèmes socioécologiques, dont Ostrom (2009) distingue les composantes liées aux ressources, à la gouvernance et aux utilisateurs. Ainsi, les sous-systèmes constitutifs du territoire portuaire peuvent être caractérisés à travers leur(s) fonction(s), leur organisation (et infrastructures), leur métabolisme général (analyse des flux de matières et d’énergie d’après Bringezu *et al.*, 2009 ; Jit Singh et Haberl, 2013) et les acteurs (gouvernance) les régissant.

Le Tableau 2 suivant résume ces éléments de caractérisation, en partant du principe que le domaine de la pêche est ici intégré au sous-système agricole et que le domaine du tourisme est plutôt intégré au sous-système urbain.

Tableau 2 – Première caractérisation des sous-systèmes

| | Fonction(s) | Organisation /infrastructures | Métabolisme | Acteurs /gouvernance |
|---|--|--|---|--|
| Sous-système industrialo-portuaire | « Fabrique et transforme des flux bruts et semi-finis » « Transporte » → un sous-système « transformateur » | Unités industrielles – périmètre d’usines – ilôts – friches industrielles – ZIP – Quais et portiques – canaux et darses – écluses – réseaux de transfert (pipelines) | « Recycle peu » Grande diversité de flux de matières et d’énergie en présence (transit et stock de flux provenant et à destination de l’extérieur) ; Importance des volumes/masses des flux et dépôts (forte proportion de flux énergétiques et de flux conteneurisés) | 1 ^{er} ordre : Autorités portuaires ; Industries (grosses entreprises et PME/PMI) Annexes : chambres consulaires (CCI) ; associations environnementales ; réseaux portuaires ; laboratoires de recherche ; syndicats |

| | | | | |
|--|---|--|---|---|
| Sous-système urbain (incluant tourisme) | « Héberge et consomme des produits finis » → un sous-système « destinataire » | Quartiers – rues – places – îlots – bâtiments résidentiels, tertiaires, commerce et hôpitaux – stations de traitement (eaux potable et eaux usées, centre de transfert de déchets) – chaufferies collectives | « Recycle pas » Diversité relative de flux de matières et d'énergie. Consommation principale, en masse de flux énergétiques de flux d'eaux, de produits alimentaires et de matériaux de construction (Mat <i>et al.</i> , 2013) | 1 ^{er} ordre : Collectivités locales et intercommunalités ; Annexes : chambres consulaires (CCI) ; associations environnementales ; réseaux portuaires ; laboratoires de recherche ; syndicats |
| Sous-système agricole (incluant pêche) | « Produit et nourrit » → un sous-système « expéditeur » (en est-on sûr ? faire un rapide bilan de flux entrants/sortants en masse pour vérifier si on produit autant qu'on y consomme...) « entretient des paysages » | Parcelles – fermes – systèmes d'exploitation – systèmes agraires | « Recycle » Diversité relative de flux de matières et d'énergie. Consommation principale, en masse, d'eau, de produits fertilisants et production de produits finis et semi-finis | 1 ^{er} ordre : exploitants agricoles ; Annexes : coopératives agricoles ; collectivités locales ; chambres consulaires (Chambre d'Agriculture) ; associations environnementales ; |

Quelques grandes tendances se dessinent quant à la définition et au rôle des sous-systèmes industrialo-portuaire, urbain et agraire, à leur organisation (schématique) ainsi qu'aux méthodes par lesquelles sont abordées leur métabolisme (étude des flux de matières et d'énergie).

- **Le sous-système urbain**

Le sous-système urbain est aujourd'hui plutôt un espace ou pôle de consommation, les flux entrants étant davantage définis comme des éléments finis (biens et matériels) ou dédiés à une consommation directe de la part des citoyens (eau potable, produits alimentaires). Au point de vue énergétique, le milieu urbain est clairement en position de consommation finale, et non de transformation et encore moins de production (les niveaux de production des installations utilisant l'énergie solaire étant négligeables en part relative), hormis la production de services au sein de ce que Davezies et Talandier (2014) qualifient de systèmes productivo-résidentiels. En outre, le sous-système urbain est également un milieu qui généralement rejette mais ne recycle pas ou peu in-situ (Barles *et al.*, 2011 ; Barles, 2009 ; Kennedy *et al.*, 2007) des utilités issues du traitement des déchets qu'il génère, hormis quelques cas (valorisation énergétique issue des systèmes d'incinération des ordures ménagères). Les flux liquides et solides sont généralement collectés et destinés à être traités

et disposés à l'extérieur du périmètre urbain. Dans cette posture, le milieu urbain envisage très peu les possibilités de sa « connexion » avec son milieu environnant tant au point de vue de la gestion des matières entrantes (« l'ailleurs » étant considéré comme inépuisable quant à ses capacités à fournir et satisfaire les besoins des citoyens et à recevoir et absorber leurs rejets) – il est d'une certaine manière « déconnecté » de son environnement. Cette posture peut dès lors questionner son implication et sa contribution dans l'augmentation globale du niveau de résilience du territoire (Bristow et Kennedy, 2013).

Bien que difficile à modéliser de par sa complexité (Ferrari, 2013), l'organisation de la ville est inhérente à sa forte concentration d'instances décisionnaires (politiques, économiques et financières). Son découpage structurel (Figure 7) s'articule principalement autour des notions d'habitat (quartiers, bâtiments, etc.), l'espace y étant principalement bâti, même les structures dites d'épanouissement (parcs et jardins) sont conçus, artificiellement, par et pour l'Homme. A noter que seul le sous-système urbain utilise massivement le sous-sol pour y créer et y étendre sur plusieurs niveaux, artificiellement, son utilisation foncière (parking, magasins, caves, etc.).

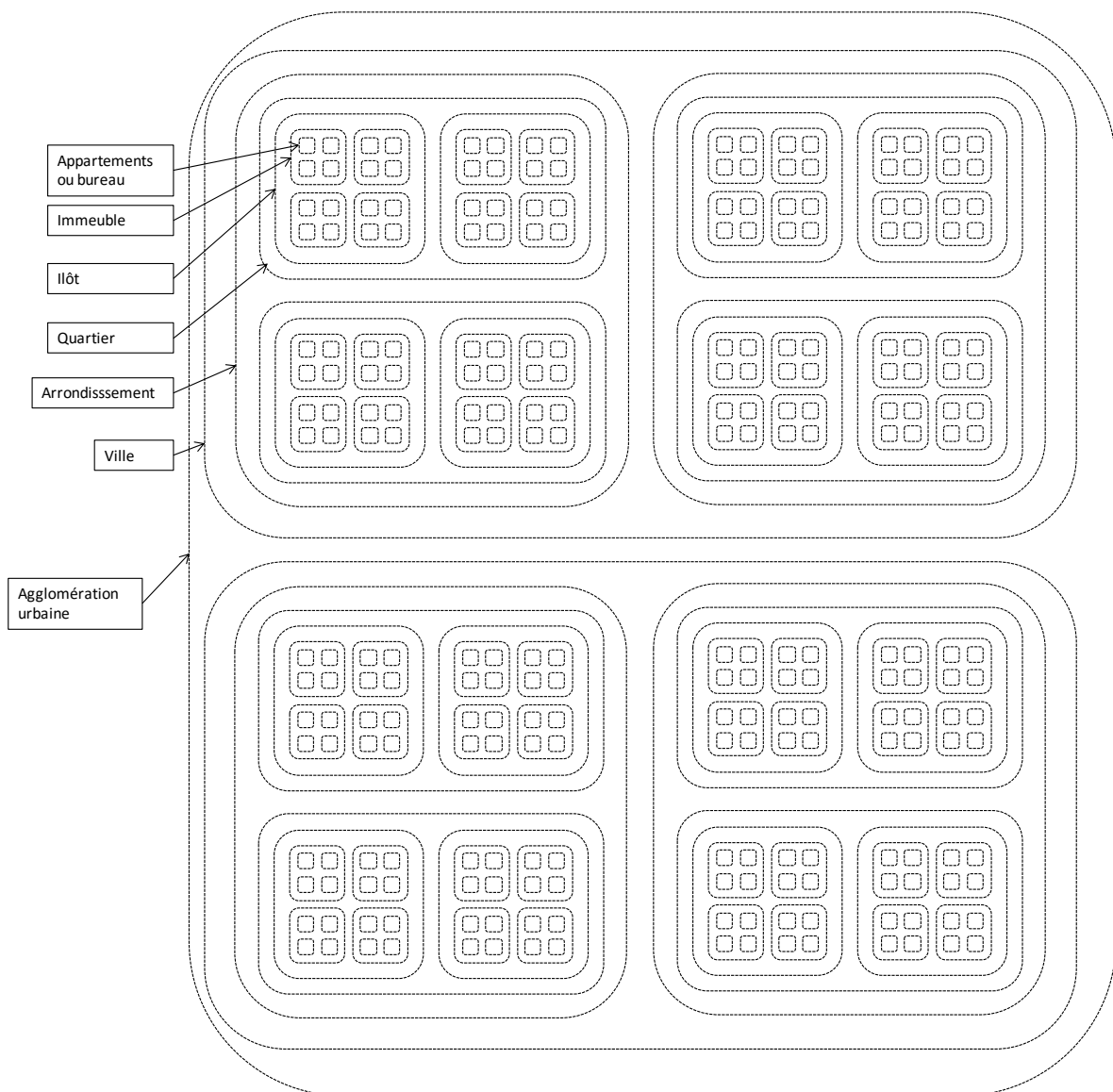


Figure 7 – Représentation simplifiée des unités d'étude du sous-système urbain

Le diagnostic de métabolisme s'applique généralement à l'ensemble urbain (à l'échelle de la ville) et caractérisé plutôt par grandes catégories de flux entrants/sortants (flux d'eau, d'énergie, de produits alimentaires et de matériaux de construction principalement en entrée et rejets atmosphériques, liquides et solides en sortie). Les sources d'informations sont souvent des bases statistiques régionales et nationales car le milieu urbain peut être vu comme une « boîte noire » en interne pour obtenir des informations, hormis pour le flux d'eau, de déchets et d'énergie dont la gestion (production/distribution) par des sociétés privées ou publiques nécessite une comptabilité propre. Les villes sont des lieux où se crée la richesse et où se consomme l'énergie (Urban morphology and complex systems institute, 2014). En 2013, à l'échelle planétaire, près de 75% de l'énergie est consommée dans les villes (Adam, 2013). La gestion des déchets municipaux (ordures ménagères et déchets recyclables) est également relativement connue. Si les actions de développement durable sont généralement réfléchies et pilotées par les élus à l'échelle de la Ville (ou de l'agglomération urbaine), l'échelle d'action peut se situer à l'échelle de la ville mais aussi à celle des quartiers, qui sont parfois davantage en situation de concurrence que de réelle articulation.

- *Le sous-système agricole*

Le sous-système agricole est plutôt conçu, historiquement, comme un espace de production. Au-delà de satisfaire ses besoins propres, on y produit (produits alimentaires, cultures énergétiques, etc.) ou l'on y capte (exemple de l'eau) une partie de ce dont les autres sous-systèmes ont besoin, particulièrement le milieu urbain dense en habitants comme autant de consommateurs. Ce sous-système est donc clairement tourné vers les autres pour écouler et justifier sa production, mais cette direction n'est cependant pas ou peu à double-sens (peu de choses lui revenant en retour, si ce n'est de façon très ciblée comme par exemple les déchets à enfouir, quelques éléments nutritifs issus des boues de STEP, etc.). Par contre, il consomme massivement des produits fertilisants, nécessaires dans cette forme d'organisation, à sa fonction première : produire. Ce sous-système est dans sa relation avec la nature dans une tendance de déconnexion croissante, le sol n'étant plus qu'un support à cultures, régénérées par des produits fertilisants souvent extérieurs au territoire.

Ce sous-système est également sollicité pour son rôle dans la gestion et l'entretien des paysages (valeur immatérielle) et la production de services écosystémiques (Fisher *et al.*, 2008). Son découpage (Figure 8) n'est pas sans rappeler celui de l'espace urbain, sauf qu'ici, le sol est principalement destiné à un usage dédié à la production (parcelles de cultures et d'élevage), sur un seul niveau (hormis plantations étagées sous serres), sans utilisation du sous-sol (hormis pour des caves de production de champignons). Dès lors, les parties prenantes sont assez mono-sectorielles, dédiée principalement aux activités d'agriculture et d'élevage.

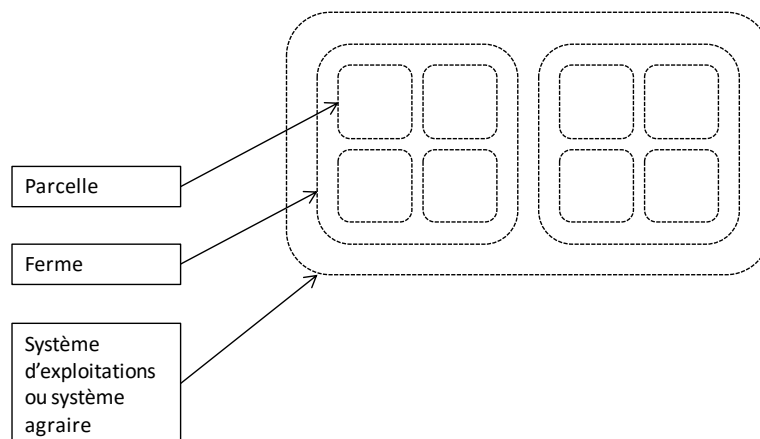


Figure 8 – Représentation simplifiée des unités d'étude du sous-système agricole

Le diagnostic de métabolisme s'applique soit à l'échelle du système agricole constitué et cohérent autour d'un village par exemple intégrant de plusieurs fermes, soit à celle de la ferme uniquement. Il est caractérisé par des flux de nutriments (azote, phosphore, potassium, etc.) et par des flux d'eau, d'énergie, etc. A noter que les flux d'eau sont difficiles à appréhender, de nombreux captages non pourvus de compteur pouvant être réalisés à l'échelle de chacun des fermes. Une approche de diagnostic est également développée par lecture paysagère (telle culture étant déjà connue en termes de rendements, de niveaux d'intrants, etc.) ce qui permet d'accélérer la compréhension du métabolisme global de l'aire étudiée sur la base des seules typologies de cultures et de leur surface cultivée (Brunet, 1986 ; Benoit *et al.*, 2012 ; Deffontaines, 1996). Les sources d'informations peuvent donc provenir de bases de données étayées s'appliquant à des cultures types et complétées par des enquêtes de terrain, sur un mode semi-directif (Baret *et al.*, 2013 ; Figuière et Métereau, 2012 ; Landais, 1996) qui permettent d'apprécier la dynamique historique du ou des systèmes agricoles étudiés avant d'apprécier la structure et le fonctionnement du système agricole actuel (sur la base d'une analyse agro-écologique et agro-économique qui permet de caractériser les typologies d'exploitations et analyser économiquement ces dernières). Les actions de développement durable sont généralement réfléchies et pilotées à l'échelle nationale ou régionale, voire de bassins versants dans le cas de la gestion des eaux et des polluants. Néanmoins, bien qu'épaulé par les chambres consulaires (chambres d'agriculture, etc.) et les collectivités d'ancrage, l'opérateur de ces actions reste généralement l'agriculteur qui reste le chef de son exploitation et par là même de sa conduite. Au regard des enjeux économiques, sociaux et environnementaux concernant les systèmes d'élevage, Thomas *et al.* (2014) soulignent à ce titre l'intérêt de rechercher une plus grande combinaison entre pratiques d'agro-écologie et d'écologie industrielle. Par ailleurs, les pratiques de permaculture, dérivant des travaux de Hopkins (1910) et qui restent une approche systémique visant à considérer les interactions dynamiques entre les éléments constitutifs de l'écosystème, tendent à se développer.

L'arrivée de l'énergie à bas coûts au cours du 20^{ème} siècle a contribué à la perte des notions d'efficacité énergétique des systèmes et de la réutilisation/valorisation systématique des sous-produits. A partir des années 50, le secteur agricole s'est rapidement inspiré des modèles de fonctionnement et de développement du secteur industriel (cloisonnement, optimisation sectorielle hors cadre global, découplage des phases de production/transformation/distribution, ouverture extrême des marchés). Après 60 ans de mise en œuvre de ce modèle-là, le constat est sans appel : certes, il est possible de nourrir aujourd'hui bien plus de monde que dans les années 50, mais au prix

de plus de pollutions. La difficulté s'opère (déséquilibres) quand il y a ouverture des systèmes vers l'extérieur (ex : disparition des modèles polyculture-élevage face au modèle agro-industriel il y a 60 ans). Soit la phase de transition est brutale (disparition du modèle, soit concurrence déloyale et inégale) soit le système revient à terme progressivement vers un autre équilibre, incluant ces deux modèles là, voire introduisant ou nécessitant l'introduction d'un autre modèle d'appui. La non-ouverture des systèmes, dans des contextes particuliers peut aussi entraîner leur disparition (exemples des Mayas, de l'Île de Pâques, etc.), sur la base d'une combinaison de facteurs d'extinction (sécheresse, démographie non adaptée aux ressources, etc.). Les systèmes agraires développés et connus au 19^{ème} siècle en Europe constituent une source d'inspiration en termes de modèles d'organisation visant à optimiser l'utilisation de ressources non renouvelables (énergie, matières) et renouvelables (eau, etc.). Basés sur les principes défendus aujourd'hui par l'écologie industrielle, ils offraient un exemple de l'intérêt d'une grande complémentarité des fonctions au sein des organisations humaines, dépassant le seul cadre rural. Il est en effet intéressant de constater que ces systèmes étaient intimement connectés avec les pôles urbains, dans la mesure où la valorisation quasi-systématique des effluents urbains (eaux usées et déchets solides) constituait une source de fertilisants très recherchée (Barles, 2010) pour amender les cultures. Ces systèmes, basés sur des approches de polyculture-élevage et d'agro-foresterie, ont ainsi permis au monde agricole et rural d'être un pionnier de l'efficacité énergétique et du bouclage de flux de matières. Cette sobriété volontaire quoiqu'en partie forcée et ce « bon sens paysan » dans la gestion des ressources n'ont toutefois pas perduré, en réaction et sous la pression combinée de facteurs endogènes (crises et exode rural, etc.) et exogènes (conflits armés, introduction des énergies fossiles, etc.). Or, il est intéressant de constater que certains de ces facteurs de contraintes qui ont soit permis de faire émerger ces modèles efficaces soit de les faire disparaître peuvent être reconsidérés aujourd'hui, dans certains contextes territoriaux. C'est par exemple le cas au niveau des espaces portuaires qui rencontrent et subissent des éléments de contraintes endogènes et exogènes en partie comparables à ceux des systèmes urbains-agraires du 19^{ème} siècle, principalement attisés par la compétition locale entre les activités agricoles, urbaines et industrielles et pouvant conduire à des conflits d'usages au niveau du foncier, des ressources en eau, des capacités à absorber les déchets produits, etc.

- *Le sous-système industrialo-portuaire*

Le sous-système industrialo-portuaire semble davantage un espace interface, dont l'objet même est de permettre et faciliter une circulation des flux de matières et d'énergie entre les autres sous-systèmes. Au-delà de cette fonction logistique (nœud, plateforme, plaque de transit/transfert, etc.), une fonction de transformation et de production peut lui être ajoutée via les installations industrielles qui sont directement connectées aux terminaux. Cette production/transformation, souvent lourde (sidérurgie, métallurgie, production de fertilisants, etc.) est directement reliée aux grands flux bruts et semi-finis circulant sur cet espace (les flux énergétiques, les flux de minerais les flux de céréales, etc.). Au point de vue du métabolisme, l'intérêt de cet espace est de tendre vers un delta minimal entre les flux entrants et sortants, la vocation de cet espace n'étant pas de consommer mais plutôt de transférer (porte d'accès et exutoire) ou de transformer. Au sein de cet espace industriel, la nature est appréhendée comme un puits de ressources nécessaires à ses activités (réserves pétrolières, gazières, minières, etc.) dont le lien est en grande partie faussé car établi

uniquement sur des bases monétaires et dont la volatilité des prix ne reflète pas toujours la réelle disponibilité physique de ces ressources. De la même manière, le milieu naturel (terrestre, atmosphérique et maritime) est historiquement conçu comme l'exutoire naturel aux rejets issus de ses activités (rejets gazeux, effluents liquides et déchets solides). Néanmoins, cet espace est paradoxalement un espace de recyclage (au sein des filières pétrochimiques en particulier) mais également un espace de non-coopération, le secret industriel, le contexte de concurrence exacerbé et la confidentialité des données permettant rarement d'envisager des formes de coopération inter-entreprises n'appartenant pas aux mêmes groupes industriels.

Le découpage de l'espace (Figure 9) y est intimement relié à l'implantation des entreprises. Plusieurs parcelles/sites co-existent, supportent des unités (process, halles de stockage, quais de transbordement, etc.) et forment de manière agglomérée des secteurs (chimiques et pétrochimiques, céréaliers et agro-alimentaires, minéraliers, etc.) composant la zone industrialo-portuaire.

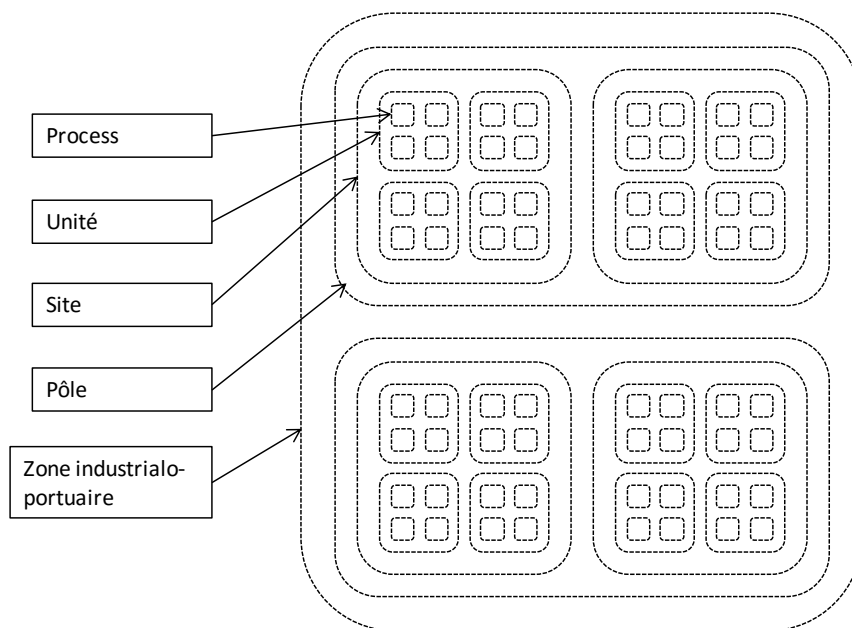


Figure 9 – Représentation simplifiée des unités d'étude du sous-système industrialo-portuaire

Le diagnostic de métabolisme s'applique généralement à l'échelle d'un panel d'entreprises, plus ou moins représentatif des activités présentes sur la zone industrialo-portuaire. Il ne s'applique généralement pas à l'échelle de la ZIP dans son ensemble car de nombreux flux entrants/sortants à une telle échelle peuvent être considérés comme seulement transitant (transbordement, etc.) entre un avant-pays maritime et un hinterland. Le diagnostic s'opère plutôt par grandes typologies de flux entrants (eau, énergie, matières) et sortants (produits finis et semi-finis, rejets atmosphériques, effluents liquides et solides). Les données sources sont renseignées par les entreprises de manière aléatoire (forte confidentialité des données) et peu de données ressortent sur les flux sortants de produits finis dans le cas des entreprises transformatrices (flux à haute valeur ajoutée soumis à forte confidentialité). L'information est donc souvent cloisonnée, les entreprises pouvant être vues comme des boîtes noires difficiles à appréhender en interne ainsi que dans les relations qu'elles établissent entre elles (de manière formelle et informelle). Les actions de développement durable peuvent être discutées à l'échelle de la ZIP par l'autorité portuaire. Néanmoins, l'entreprise reste seule pilote de ces actions pour à minima s'inscrire dans la réglementation en vigueur (niveau de rejets, etc.). A

noter que dans les ZIP et particulièrement dans les grandes entreprises qui y sont implantées, peu de marges de manœuvre en termes de décisions sont réellement possibles pour les directeurs de sites industriels, leur entité étant généralement rattachée à un grand groupe national ou multinational, dont les sphères de décision sont souvent fortement éloignés des réalités de terrain du contexte industrialo-portuaire considéré.

Le Tableau 3 propose une comparaison de chacun des sous-systèmes dans le but de chercher des correspondances et des particularités en termes de méthodologie de diagnostic de métabolisme.

Tableau 3 – Approche comparative entre sous-systèmes urbain, agricole et industrialo-portuaire

| | Sous-système industrialo-portuaire | Sous-système urbain | Sous-système agricole |
|---|--|--|--|
| Echelon d'organisation (découpage foncier) et correspondances | Zone Industrialo-Portuaire Pôle Site Unités Process | Agglomération urbaine Ville Arrondissement Quartier Ilôt Immeuble Appartements/bureaux | Système d'exploitations (ou système agricole) Ferme Parcelle |
| Echelle(s) de diagnostic | Echelle de l'entreprise (site) | Echelle globale du système (ville ou agglomération ; ferme ou système d'exploitation) | |
| Flux ciblés dans le diagnostic | Flux de matières et d'énergie (grandes typologies) | | Flux de substances (nutriments) |
| Niveaux d'appréciation de la partie « acteurs » (aspects socio-économiques) dans le diagnostic | Double approche, par flux et par acteurs (enquêtes et entretiens de terrain) | Mono-approche par flux (peu d'enquêtes de terrain) | Double approche, par flux et par acteurs (enquêtes et entretiens de terrain) |
| Typologies et disponibilité des données sources | Données de terrain (entretiens et données sources d'entreprises) | Sources statistiques | Sources statistiques et données de terrain (entretiens et lecture paysagère) |
| Lien entre données sources et niveau décisionnaire | Soit très « court » (le chef d'entreprise renseigne les données et prend les décisions) Soit très « long » (éloignement des centres décisionnaires dans le cas des multinationales) | Multiplicité des instances décisionnaires locales et régionales | Assez « court » (chef d'exploitation) |

Si des éléments similaires apparaissent dans le découpage de l'espace terrestre à l'échelle de chacun des sous-systèmes, la différence réside plus dans l'affectation des sols, qui dépend alors de la fonction attendue (produire, transformer, stocker, habiter, etc.). Néanmoins, des correspondances d'échelle semblent plausibles.

Dès lors que l'on considère que la compréhension du fonctionnement interne de chacun des sous-systèmes permet d'en améliorer le niveau propre d'efficacité, il apparaît important **d'étudier l'intérêt de développer des interactions entre sous-systèmes pour améliorer non pas chacun des sous-systèmes de manière isolée mais bien le système global (espace portuaire) dans son ensemble**. En ce sens, il est possible de capitaliser sur des expériences et périodes de l'Histoire qui ont vu des formes de collaboration similaire émerger, se structurer et se systématiser : c'est le cas par exemple des systèmes agraires du 19^{ème} siècle, notamment en Europe (Barles, 2005 ; Barles, 2010 ; Barles, 2011), qui étaient clairement davantage basés sur des complémentarités et interactions très fortes en termes de fonctions et d'usages des sols, des installations et d'utilisation des ressources. van Damme (2014) requestionne également les concepts de ville propre ou énergétiquement auto-suffisante. Kim (2013) a montré les trajectoires énergétiques urbaines opérées en région parisienne depuis 150 ans, partant d'une ressource principalement biomasse pour ne plus dépendre quasiment exclusivement aujourd'hui des combustibles fossiles et fissiles. Au-delà des fermes, qui pour certaines tendaient quasiment, au point de vue de leur métabolisme vers une quasi forme d'autarcie, les liens entre le milieu urbain et le milieu rural étaient plus denses qu'aujourd'hui (Barles, 2010 ; Barles, 2011) car la ville était un véritable puits de ressources pour le secteur agricole. Les flux d'eaux usées et les déchets solides constituaient en effet des réserves non négligeables de nutriments essentiels à la fertilisation des sols cultivés en secteur rural. Ces boucles de réciprocité entre milieux pourraient utilement ré-inspirer nos modèles d'organisation territoriaux, particulièrement dans les territoires portuaires, confrontés à des enjeux exacerbés de conflits d'usages et de gestion commune des ressources entre une multiplicité de parties et d'affectation foncière.

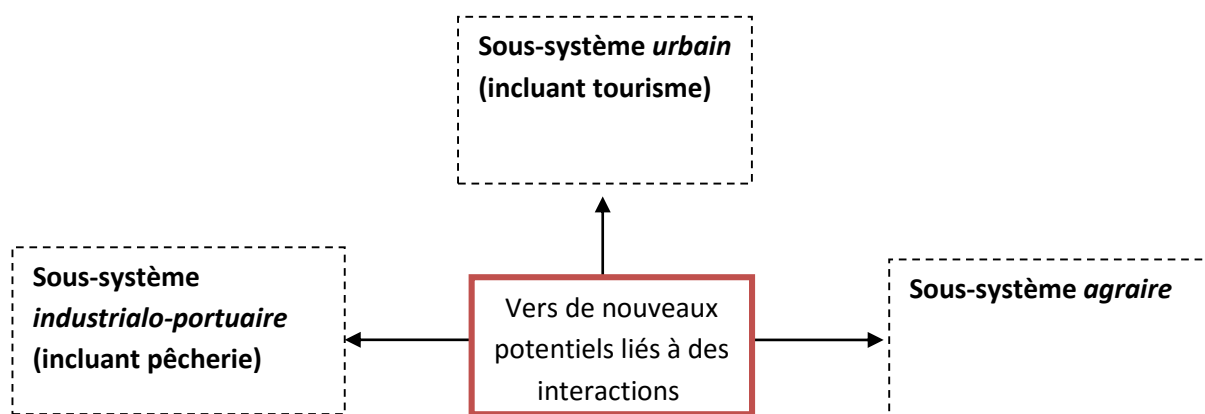
- *Des interactions à l'échelle des flux, des acteurs, des espaces*

Cette nouvelle façon de raisonner impose et provoque un re-questionnement du concept de multifonctionnalité, thème porteur dans le milieu naissant de l'ingénierie écologique (Dutoit, 2013 ; Diemer et Labrune, 2007) et suppose de fait la création de nouveaux services au sein des territoires. Par exemple, l'agriculture pourrait produire davantage de « biens et services immatériels » comme la gastronomie, le tourisme ou des services écosystémiques, qui sont des services non délocalisables (Calame, 2012). Altieri (1999) posait la question du rôle écologique de la biodiversité dans les agroécosystèmes. Dans ce prolongement, il pourrait être utile de se poser la question du rôle (anthropique) des systèmes industrialo-portuaires dans le « système Nature » global, ce qui introduit la notion de services apportés non pas seulement dans un sens par la Nature pour nos activités humaines mais également par réciprocité par les activités humaines dans la Nature (services de restauration écologique, transformation, etc.).

Cette recherche d'interactions peut donc renvoyer tant à la définition qu'à l'évolution des fonctions (le sous-système urbain peut ainsi voir, par exemple, sa fonction première de territoire résidentiel évoluer vers une fonction de production de nutriments à destination du sous-système agricole).

Problématique de recherche

L'approche transversale et décloisonnée, tant louée dans le cadre des politiques publiques de développement durable, est peu observée sur le terrain, au détriment notamment de l'émergence d'un véritable projet de territoire en termes d'écologie industrielle. **Il est intéressant d'étudier en quoi une approche territoriale élargie, quasi inexistante à l'heure actuelle, et pouvant s'appuyer sur les principes de l'écologie industrielle et territoriale, pourrait permettre de révéler de nouvelles opportunités et constituer un gain potentiel supérieur à la simple addition des initiatives et processus d'optimisation de chaque sous-système.** Ces derniers s'inscrivent dans des approches qui se réclament de principes différents. Or il conviendrait de vérifier les liens existants et potentiels entre ces approches, ainsi que leur capacité à parvenir à des constats similaires (intérêt d'un décloisonnement des démarches, besoin d'une gouvernance élargie, besoins de nouvelles interactions entre parties prenantes, etc.).



Ces constats posent ainsi la question de la pertinence de **développer des approches décloisonnées** du point de vue scientifique (enjeu de l'interdisciplinarité), politique (processus de construction territoriale telle que la métropolisation) et opérationnel (enjeu des interactions fonctionnelles), en s'appuyant sur le contexte spécifique des territoires industrialo-portuaires. Autrement dit, **comment développer une « gestion globale des ressources locales » et aborder la notion de résilience au sein des territoires portuaires en s'appuyant sur l'efficacité, la circularité et la localité de gestion des ressources ?** Cela pose également la question de savoir si la société portuaire favorise volontairement la conception et l'apparition de nouvelles formes d'organisation, de coopération et de gouvernance facilitant la mise en œuvre d'une économie circulaire et le développement de l'attractivité du territoire ou est-ce que ces nouvelles pratiques n'émergent que

par le contexte économique, social et environnemental contraignant auquel sont continuellement confrontés les ports ?

Ces travaux de recherche proposent ainsi d'explorer et d'explicitier les termes de l'équation suivante, posée ici comme problématique générale :

$$\sum(I_{IP}+I_A+I_U) < \sum(I_{IP}+I_A+I_U) + I_T < \sum(I_{IP} \cdot t_{IP} + I_A \cdot t_A + I_U \cdot t_U) + I_T$$

1

2

Valeur ajoutée territoriale (indépendante)

3

Paramètres qui expriment l'influence du système T

Création de l'interdépendance (maillage, complexité) et augmentation de la résilience

Dans laquelle :

- I_{IP} : Initiatives d'optimisation de la gestion des ressources dans le sous-système industrialo-portuaire
- I_A : Initiatives d'optimisation de la gestion des ressources dans le sous-système agricole
- I_U : Initiatives d'optimisation de la gestion des ressources dans le sous-système urbain
- I_T : Initiatives d'optimisation de la gestion des ressources au niveau du système territorial (approches décloisonnées)
- t_x : Facteur d'interaction des autres sous-systèmes sur le système considéré.

Le **terme 1** serait celui généralement observé à l'heure actuelle, dans la majorité des territoires industrialo-portuaires, caractérisé par un cumul d'approches cloisonnées par sous-systèmes. Le **terme 2** pourrait alors correspondre à la tendance de certains territoires à vouloir reconsidérer leur approche de gestion des ressources à une échelle élargie (dans le cadre de processus de métropolisation notamment tels qu'observés à l'échelle d'Aix-Marseille Provence en France) : l'ambition de définition et de représentation territoriale reste principalement au stade politique et n'influence que peu les pratiques au sein de chacun des sous-systèmes. L'approche proprement territoriale (**terme 3**) introduirait des facteurs prompts à influencer les pratiques de chacun des sous-systèmes, produisant de fait une nouvelle interdépendance entre sous-systèmes. Au-delà de la juxtaposition de sous-systèmes vertueux en termes de gestion des ressources, il s'agit ici de favoriser l'émergence d'un système « territoire » support de la résilience de ces espaces et créateur d'effets rétroactifs pouvant influencer sur l'optimisation de chaque sous-système. En analogie avec les écosystèmes, le système territorial tendrait alors vers une complexité croissante, faisant émerger de par les interactions entre les composantes industrielles, urbaines et agricoles un système « territoire » complexe qui, à l'instar des propriétés émergentes, ne peut se déduire des lois qui régissent ces composantes (Cerceau, 2013). En retour, ce système « territoire », par une causalité

descendante (Kim, 1999), aurait pour impact de modifier les composantes territoriales, en densifiant notamment le système d'interactions qui les lient.

Ces travaux de recherche posent ainsi la question du caractère suffisamment intégratif de l'écologie industrielle et territoriale (Brullot *et al.*, 2014 ; Buclet, 2011) comme cadre conceptuel global permettant d'appréhender la complexité de cette dynamique locale nouvelle de gestion des ressources à l'échelle d'un territoire, et ce quel que soient les secteurs économiques représentés. Il s'agit en effet de s'assurer que l'écologie industrielle, menée à une échelle territoriale, en renouvelant les interactions entre les composantes de ce système, contribue effectivement à une plus grande efficacité de la gestion des ressources et à une plus grande résilience ou adaptabilité des territoires.

Trois hypothèses de recherche

En lien avec les trois étapes de l'équation précédemment formulée, trois hypothèses sont soulevées et étudiées dans le cadre de ce travail de recherche :

- Hypothèse 1 : Au-delà des seules optimisations par sous-système, il existe des approches territoriales qui ont pour objectif de construire une optimisation des ressources sur la base d'interactions entre les différents sous-systèmes au sein de l'espace portuaire.
- Hypothèse 2 : Les territoires portuaires ont tendance à évoluer vers une plus grande interaction entre les sous-systèmes qui les composent par la mise en œuvre de dynamiques territoriales d'écologie industrielle.
- Hypothèse 3 : Une approche décloisonnée et inter fonctionnelle de l'écologie industrielle permet d'accroître les performances territoriales et fonctionnelles en termes de gestion des ressources, vers une plus grande résilience des territoires portuaires.

Ces trois hypothèses guident ainsi ce travail de recherche opéré durant trois ans à une échelle française et internationale.

L'hypothèse 1 entend défendre l'idée d'une diversification et d'un renouvellement des pratiques d'écologie industrielle observées et mises en œuvre au sein des territoires industrialo-portuaires, avec l'apparition de synergies ou de dynamiques de symbioses débordant les cadres classiques d'analyse et de mise en œuvre seulement par sous-système.

Partant de ce constat, l'hypothèse 2 suppose que les dynamiques d'écologie industrielle concourent à adopter progressivement une vision et une pratique davantage territoriale de la gestion des ressources, en développant plus systématiquement des synergies et des interactions à l'interface entre les différents sous-systèmes territoriaux.

Enfin, l'hypothèse 3 avance l'idée que cette logique d'écologie industrielle et territoriale, basée sur des interactions entre sous-système, permet *in fine* une meilleure gestion globale des ressources, participant en cela à une co-évolution des sous-systèmes dans le sens d'une plus grande complexité et d'une plus forte résilience du système territorial global.

C. Articulation globale du manuscrit

« Partis-pris méthodologiques »

L'approche méthodologique globale adoptée dans le cadre de ce travail de recherche mêle à la fois :

- une logique inductive qui entraîne la formation de représentations générales à partir de l'étude de faits particuliers (généralisation des observations). L'étude du terrain et les observations associées (expériences antérieures et actuelles) dictent et conduisent la réflexion et l'approche de recherche, qui est itérative de fait.
- et une logique d'expérimentation qui consiste à tester, sur un ou plusieurs territoires d'étude, la validité des hypothèses avancées en préambule de ce travail de recherche. Construite selon une logique d'observation de phénomènes et sur la base d'un protocole (expériences) élaboré à partir des hypothèses (ex : conducteur d'entretien pour mener une série d'entretiens et une analyse qualitative), cette logique permet de révéler et d'exploiter des données nouvelles, qualitatives ou quantitatives, à mettre ensuite en perspective au regard de(s) hypothèse(s) considérée(s) pour validation ou infirmation.

Il convient également de souligner que ce travail de recherche marque, dans son approche méthodologique générale, une forme de progression en termes 1/ d'échelle d'analyse (allant d'une compréhension internationale de la dynamique d'écologie industrielle dans les ports mondiaux pour progressivement resserrer sur le cas d'étude de Marseille, 2/ d'objet d'analyse (partant d'une étude du port et/ou de la ZIP à celle du territoire industrialo-portuaire dans son ensemble), 3/ de temporalité d'analyse (de l'instant présent à une compréhension de l'évolution socio-écologique de ces territoires). Ce dernier point met en évidence l'adoption, pour les besoins de l'étude et en fonction des territoires et des hypothèses considérées, d'une approche à la fois statique (caractérisation d'un existant, d'un état actuel observable), dynamique (caractérisation d'une évolution – approche historique – du système étudié) et prospective (élaboration de scénarios élaborés sur la base de l'analyse des données disponibles via un état des lieux, une compréhension des tendances lourdes et des phénomènes émergents et sur une compréhension et prise en compte des processus socio-psychologiques – exercices de représentation et de projection – des différentes parties prenantes du système étudié). Cette logique correspond à la progression des différents chapitres du manuscrit.

Architecture du travail de recherche

Suite à cette introduction générale, ce manuscrit s'organise en trois principaux chapitres (Figure 10) pour chercher à confirmer ou infirmer la validité des hypothèses précédemment décrites.

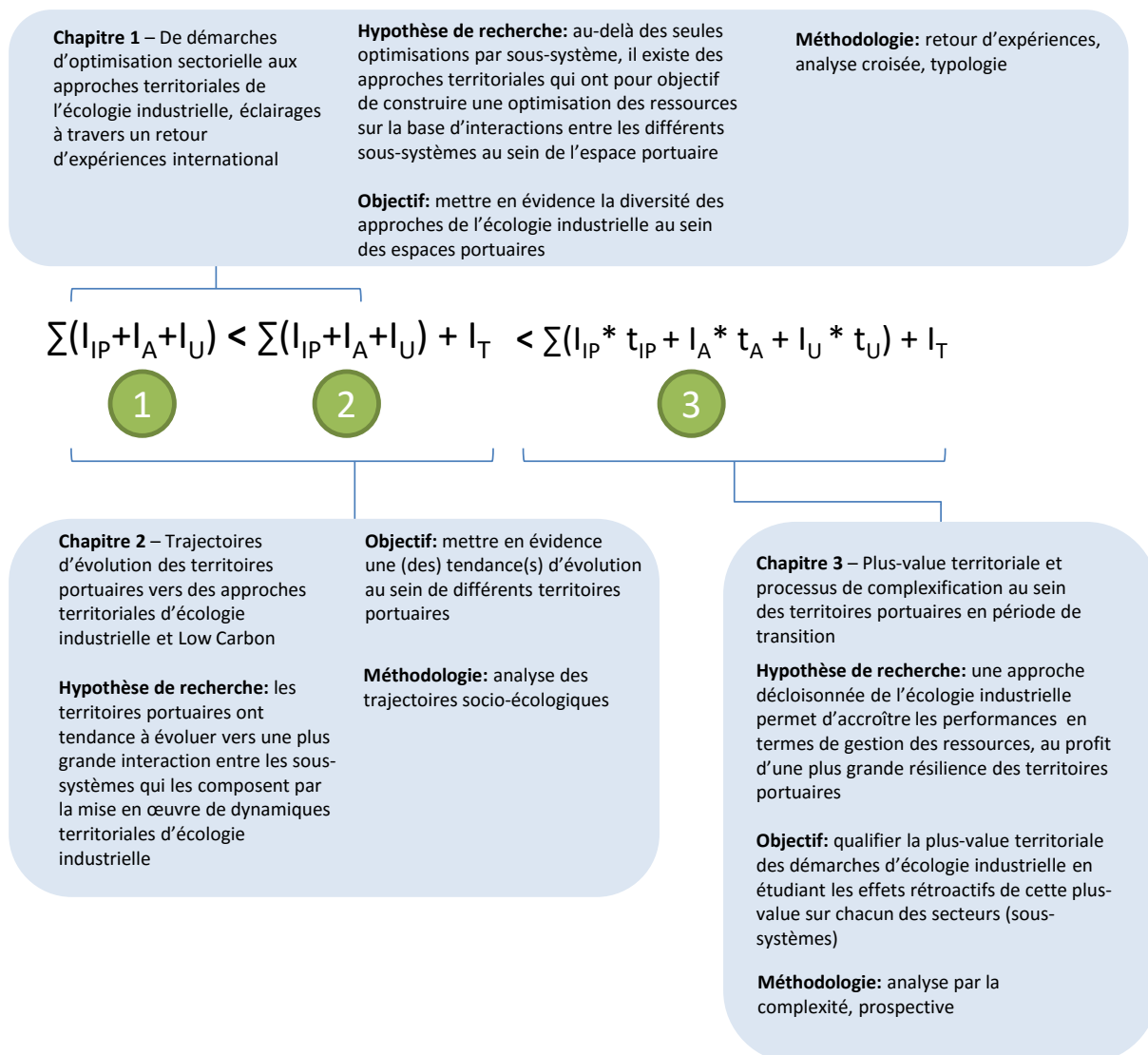


Figure 10 – Structure du travail de recherche

Le chapitre 1 intitulé « De démarches d’optimisation sectorielle aux approches territoriales de l’écologie industrielle, éclairages à travers un retour d’expériences international » aura pour objectif de mettre en évidence la diversité des approches de l’écologie industrielle au sein des espaces industrialo-portuaires. Cela afin de vérifier l’hypothèse selon laquelle au-delà des seules optimisations sectorielles au sein de chaque sous-système pris indépendamment, il existe des approches territoriales qui ont pour objectif de construire une optimisation des ressources sur la base d’interactions fonctionnelles entre les sous-systèmes au sein de l’espace portuaire. Pour se faire, ce chapitre s’appuiera sur un retour d’expériences à l’échelle internationale, une analyse croisée et un travail de typologie (**approche statique**).

Le chapitre 2 intitulé « Trajectoires d’évolution des territoires portuaires vers des approches territoriales d’écologie industrielle et Low Carbon » aura pour objectif de mettre en évidence cette tendance d’évolution à travers l’histoire du développement de certains territoires portuaires, afin de vérifier l’hypothèse selon laquelle les territoires portuaires ont tendance à évoluer vers une plus grande densité d’interactions par la mise en œuvre de dynamiques territoriales d’écologie

industrielle à l'interface entre les différents sous-systèmes. Pour se faire, ce chapitre s'appuiera sur une description des trajectoires socio-écologiques (**approche dynamique**) observées au sein d'un panel restreint de territoires d'analyse.

Le chapitre 3 intitulé « Plus-value territoriale et processus de complexification au sein des territoires portuaires en période de transition » aura pour objectif de qualifier la plus-value territoriale des démarches d'écologie industrielle, en étudiant les effets rétroactifs de cette plus-value sur chacun des sous-systèmes afin de vérifier l'hypothèse selon laquelle une approche décloisonnée et inter fonctionnelle de l'écologie industrielle permet d'accroître les performances territoriales et fonctionnelles en termes de gestion des ressources, en termes de complexité et de résilience. Pour se faire, ce chapitre s'appuiera sur une analyse prospective des scénarii d'évolution énergétique envisageable au sein d'un territoire portuaire d'étude, analysés à travers le prisme de la complexité et de la coévolution (**approche prospective**).

Enfin, un chapitre conclusif, intégrant une synthèse des différents résultats du travail de recherche, propose une mise en perspective de prochains enjeux, à la fois de recherche et opérationnels.

Chapitre 1 : De démarches d'optimisation sectorielle aux approches territoriales de l'écologie industrielle, éclairages à travers un retour d'expériences international

1.1. Introduction au chapitre 1 : port et énergie

Etabli sur la base d'un retour d'expériences international de démarches d'écologie industrielle menées en 2011-2012 au sein de territoires industrialo-portuaires, co-financé par l'ADEME, ce premier chapitre propose un aperçu de la diversité des initiatives menées en termes d'optimisation de la gestion des ressources. Parmi les enseignements à tirer de ce travail, dont une partie des résultats a été publiée (Mat *et al.*, 2014), deux constats appuient le positionnement de cette thèse sur les enjeux de transition énergétique dans les territoires portuaires et sont donc discutés dans cette perspective.

1.1.1. Le port levier pour la mise en œuvre de l'écologie industrielle

De nombreuses initiatives en faveur d'une meilleure gestion des ressources prennent corps sur les espaces portuaires, allant d'approches centrées sur les zones industrialo-portuaires à des approches plus larges et décloisonnées (à l'interface entre plusieurs sous-systèmes) au sein des territoires étudiés. Cela renvoie à l'hypothèse 1 selon laquelle il existe, au-delà des seules optimisations au sein des sous-systèmes, des approches territoriales qui ont pour objectif de construire une optimisation des ressources sur la base d'interactions fonctionnelles renouvelées au sein de l'espace portuaire (et entre places portuaires). Le port constitue alors un véritable levier pour la mise en œuvre et l'instauration de ces interactions avec les secteurs urbains et agricoles situés à proximité plus ou moins immédiate des Zones Industrialo-Portuaires (ZIP).

Ce constat peut être éclairé d'un point de vue économique. Les théories développées par von Thünen (1826) pourraient en partie expliquer la localisation industrielle de certaines activités (industries lourdes, transformations et exportations) dans cette typologie de territoires bénéficiant de facteurs de compétitivité différenciant du fait de leur position en front de mer (coûts et facilité d'accès aux marchés internationaux, etc.). Selon Labaronne *et al.* (2014), l'inscription des acteurs (notamment des entreprises) dans des démarches d'écologie industrielle semble clairement s'inscrire dans une logique et une volonté de construction d'avantages comparatifs endogènes (innovation et évolution des procédés et des services proposés localement). Le fait de pouvoir disposer d'un réseau d'utilités (chaleur, eau industrielle, etc.) localement et aisément (dans une logique *plug & play* par exemple) contribue au niveau global d'attractivité de la zone industrielle pour de nouveaux entrants. Ces cas étudiés à une échelle internationale soulignent la création de ces externalités positives (Marshall, 1890 ; Arrow, 1962, Romer, 1986), résultant de ces processus d'agglomération (Krugman, 1991 ; 1992 ; 1998) en front de mer et de ce bonus d'attractivité lié à la présence et à la localisation de l'outil portuaire. Parmi les externalités positives créées, Labaronne *et al.* (2014) citent la réduction

des incertitudes logistiques d'approvisionnement des intrants et d'écoulement des outputs, les économies d'échelle (approvisionnements, partage d'utilités, réduction des coûts de transaction entre les opérateurs, etc.) issues des démarches coopératives (exemple de la mutualisation de compétences sur le site de Jorf Lasfar au Maroc), la stimulation des capacités d'innovation (exemple de la Plateforme PIICTO à Fos sur Mer), le transfert de connaissances (*knowledge spillovers*) et la circulation d'information (*informations spillovers*), conditions essentielles de mise en œuvre des synergies en écologie industrielle (via des réseaux de relations formelles et informelles, comme Ecopal sur Dunkerque, Ecotown Program au Japon, NISP au Royaume-Uni, etc.).

1.1.2. L'importance des enjeux énergétiques

La dimension énergétique, que ce soit au niveau de la gestion des consommations, de la production, de la diversité du mix énergétique, des émissions de gaz à effet de serre, etc. est considérée par les acteurs du territoire comme un enjeu important pour plus de 80% des cas étudiés. Les stratégies adoptées pour opérer la transition énergétique reposent généralement sur deux principaux piliers :

- l'efficacité énergétique par l'optimisation des consommations (utilisation rationnelle de l'énergie, notamment d'origine fossile), des process de production (cleaner production) et de la logistique. Cette efficacité énergétique s'opère aussi par des échanges énergétiques au sein de la zone industrielle (synergies) et par la réutilisation de co-produits ou déchets locaux. C'est le cas par exemple à Zeeland aux Pays-Bas avec la création d'une infrastructure (réseaux de chaleur) favorisant les échanges de flux d'énergie, à Marseille et à Osaka avec la valorisation des flux de frigories générés par les terminaux méthaniers, à Jorf Lasfar avec une optimisation énergétique du complexe chimique (cogénération, réutilisation des excédents thermiques générés par les réactions chimiques du processus de production de l'acide phosphorique), etc.
- la production énergétique diversifiée, à partir de sources et gisements locaux renouvelables (biomasse, éolien, solaire, géothermique, etc.). C'est le cas par exemple à Rotterdam qui ambitionne de devenir un territoire industrialo-portuaire basé sur l'utilisation des flux de biomasse notamment locaux (bio-based economy), à Ulsan ou Marseille où l'énergie est également produite à partir de sources locales (déchets urbains ou agricoles, éolien, solaire, etc.).

Ce chapitre correspond principalement à la publication suivante :

Mat, N., Cerceau, J., Junqua, G., Lin, L., Laforest, V., Gonzalez, C. Implementing industrial ecology in port cities: international overview of case studies and cross-case analysis. Journal of Cleaner Production. Disponible en ligne depuis le 28 mars 2014. (2014).

[doi:10.1016/j.jclepro.2014.03.050](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.03.050)

Ce chapitre s'appuie également sur les productions et compléments apportés aux publications suivantes (en annexe notamment) :

- *Annexe n°2* : Cerceau, J., Donsimoni, M., Labaronne, D., Mat, N. *Ecologie industrielle dans les territoires portuaires du Maghreb. Cas de Jorf Lasfar (Maroc) et Béjaïa (Algérie)*. Article publié dans l'ouvrage collectif dirigé par Labaronne, D. (Coord). *Villes portuaires au Maghreb, acteurs du développement durable*. Presses des Mines - TRANSVALOR, Paris (2014)
- Mat, N., Junqua, G. Cerceau, J. *Ecologie industrielle dans les territoires portuaires : pratiques internationales et expériences françaises*. *Les Techniques de l'Ingénieur* (2014).

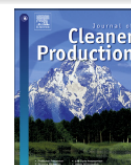
1.2. Mettre en œuvre l'écologie industrielle dans les villes portuaires : retours d'expériences internationales et analyse croisée d'études de cas



Contents lists available at [ScienceDirect](#)

Journal of Cleaner Production

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jclepro



Implementing industrial ecology in port cities: international overview of case studies and cross-case analysis

Juliette Cerceau^{a,*}, Nicolas Mat^{a,1}, Guillaume Junqua^a, Liming Lin^a, Valérie Laforest^b, Catherine Gonzalez^a

^aLGEI, Ecole Nationale Supérieure des Mines d'Alès, 6, Avenue de Clavières, 30319 Alès Cedex, France

^bSITE – Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, 158, Cours Fauriel, F-42023 Saint-Étienne Cedex 2, France

ARTICLE INFO

Article history:

Received 17 May 2013
Received in revised form
28 February 2014
Accepted 16 March 2014
Available online xxx

Keywords:

Industrial ecology
Industrial symbiosis
Port
Port city
Cross-case analysis

ABSTRACT

The aim of Industrial ecology (IE) is to optimize resource management by densifying interactions between stakeholders occupying a common geographic area. This article considers ports, understood as platforms of circulation and transformation of material and energy flows. It addresses the role and capacity of ports to foster the implementation of IE in port cities and to contribute to the optimization of resource management in coastal areas.

This article presents the result of a research project (2011–2012) consisting of an international inventory of innovative resource management initiatives in port areas. 18 port-based industrial complexes were visited, enabling the analysis of 23 port IE initiatives. Cross-case analysis was carried out following a 3 step methodology: 1/ definition of the research boundaries; 2/ qualitative data collection by means of interviews and a literature review; 3/ data analysis in order to build a typology of port contribution to the implementation of IE in port-city areas.

The case studies analyzed can be classified into 9 patterns based on temporal and spatial characteristics of P-IE initiatives. They provide insights on the ports' influence on local IE dynamics: as areas of testing and implementation of industrial symbiosis, ports can constitute exemplary self-sufficient areas, likely to boost the development of other local eco-parks; as drivers of local economic development, ports act as levers for the implementation of sustainable policies at a regional scale; as nodes in a global port network, ports can develop inter-port by-product exchanges and utility sharing. Ports question the relevance of geographical proximity in IE.

© 2014 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

The coastal zone, covering 8% of the world's surface area may account for as much as 25% of global primary production (Turner *et al.*, 1996). Demographic trends have combined with major socioeconomic trends to produce a growing concentration of urban development and port-based industry in these areas. In 2010, 65% of cities with populations above 1.3 million were located along the world coast (Vallega, 2001). Within these coastal zones, ports have essentially been defined as gateways linking a home region to the rest of the world via international transport (Bird, 1983). They constitute logistic nodes playing an important role in the management and co-ordination of material and information flows, at the interface between land and water transport, within a global supply chain network (Carbone and De Martino, 2003). They are platforms of transit, storage, collection and distribution as well as industrial processing for the main material and energy flows (Van Klink, 1994). As nodes in a global transportation network, the functions of ports have generally been considered as exogenous and eccentric to the coastal and urban landscape (Bird, 1983). In major European seaports, port functions have been dissociated from city functions. While in the traditional port city, port and urban functions are located together and interpenetrate each other, with the development of huge industrial port complexes, the port functions has migrated outside the city, toward peripheral urban areas or greenfield sites (Hoyle, 1989). Spatial and functional segregation between ports and cities has thus become more marked in many port cities in the world (Hayuth, 1989). However, this trend must be qualified. Lee *et al.* (2008) describe the stages of evolution of Western and Asian port-city interfaces since ancient medieval times. Resulting from these evolutions, they contrast two extremes of port-city relationships: on the one hand, 1/ a "general port city" model where the port has been separated from the city and, on the other hand, 2/ a "global hub port city" where the port development is integrated within the urban core. It therefore becomes necessary to enhance port-city relationships and reappraise new opportunities for synergies between these two main functions of coastal zones. For Merk (2013), the core question of these coastal areas addresses the capacity of ports to continue providing added value to cities, and fostering urban prosperity and well-being.

Ports have both negative and positive impacts upon their local urban context. Several ports are sites for resource-intensive industries that benefit from the proximity of loading and unloading vessels. Port-related activities are generally heavy-industry activities such as refineries, chemical plants, steel and coal production, paper and paper pulp processing, aerospace and renewable energy generation (Merk, 2013). As a result, they are currently experiencing intense and sustained resource, environment and health pressures. In terms of resource depletion, the level of energy consumption of port-based industrial complexes is illustrated by energy-intensity: for instance, while only representing 0.02% of the total surface area of France, the Marseille-Fos port-based industrial zone consumes the oil equivalent of approximately 4.5 million tons per year, i.e. 3% of national energy consumption (Rodrigues, 2012). Terrestrial activities in port areas also contribute to soil and sediment contamination, together with air pollution, negatively impacting public health (Miola *et al.*, 2009), and use up land, provoking the degradation of natural habitats and biodiversity (Darbra *et al.*, 2004). According to the European Sea Ports Organization Environmental Survey, one of the major environmental issues in seaports remains port waste management (European Sea Ports Organisation, 2013). On the other hand, the creation of added value by ports and port-related activities can be substantial, in terms of direct impacts including jobs and income generated by the port, indirect impacts generated by the supply of goods and services and the catalytic impact generated by the capacity of port to drive economic productivity, growth and attractiveness (Merk, 2013). For Brooks and Cullinane (2007), the global evolution of port governance toward public-private organization reveals the desire of governments to garner greater local efficiency, effectiveness and responsiveness from ports. For instance, in 2007, the added value of the Antwerp port cluster contributed to 2.9% of the national gross domestic product (GDP) and represented 15.5% of regional GDP (Merk *et al.*, 2011). This added value of industrial port development is fostered by synergetic cluster effects measured through the intensity of economic linkages between sectors within the port area (Merk, 2013).

In this context, port cities are interesting laboratories for the implementation of industrial ecology (IE). IE seeks to optimize resource and waste management by densifying interactions between different stakeholders occupying a common geographic area. Industrial symbiosis, as a way to implement IE, has been defined as engaging traditionally separated industries in a collective approach to competitive advantage involving physical exchange of materials, energy, water and by-products, thanks to the synergistic possibilities offered by geographic proximity (Chertow, 2000). Industrial symbiosis supposes the evolution of coordination between economic actors (Baas and Boons, 1997). As areas concentrating high resource depletion, pollutant emissions and human population density, port cities constitute a real challenge with regard to reducing pressures on the environment and society. As logistic nodes centralizing material and energy flows and concentrating major operations in the value chain, they directly concern issues of optimization and integration of flow management and represent major drivers for the implementation of IE. As synergetic clusters, they benefit from an existing culture of linkages and partnerships between sectors which can be propitious to IE initiatives (Cohen-Rosenthal, 2000; Boons and Howard-Grenville, 2009).

Port cities do not appear as a stand-alone issue in IE literature: some IE articles refer to seaports but mostly as case studies amongst others (Baas, 2000; Fleig, 2000; Park and Won, 2007; Boehme *et al.*, 2009). It would appear that little mention is made of the specific characteristics of IE initiatives carried out in port-based industrial complexes. The IE measures implemented in port areas cover a broad range of initiatives, including: collaborative approaches to air or water pollution at watershed scale (Boehme *et al.*, 2009; Cameron, 2010; Booth and Loh, 2012), collaborative dredged material management at regional scale (Abriak *et al.*, 2006, Junqua *et al.*, 2006; Stern, 2009; Port of Long Beach, 2011), resource and energy optimization together with waste recycling between firms (Otsuka, 2006; Royston, 2009), and port-city cooperation over recycling facilities (Fujita, 2006; Higushi, 2004). While individual case studies are indispensable for revealing the variety of industrial symbioses, comparative research at international scale may cast more light on similarities and differences in IE initiatives in varying contexts (Lombardi *et al.*, 2012).

This article is a first trans-continental study of IE initiatives in ports, emphasizing IE theory, policy and implementation transfer, and replication in other port contexts. It presents the result of a research project, carried out from September 2011 to September 2012, consisting of an international inventory of innovative resource management initiatives in port areas in North America, Europe, Africa and Asia. 18 port-based industrial complexes were visited, enabling the identification, documentation and analysis of 23 port IE initiatives (hereafter designated as P-IE initiatives). By identifying patterns for the definition and planning of IE initiatives in port areas, this article addresses the role and capacity of ports for fostering the implementation of IE in port cities and contributing to the optimization of resource and waste management in coastal areas. The core question is how do ports contribute to the planning and implementation of IE in port-city areas?

2. Research framework and methodology

The case study methodology consists in identifying recurrent phenomena among a number of situations (Collerette, 2004), using a “pattern-matching” logic (Yin, 1984). Eisenhardt (1989) assigns two functions to the case study approach: a deductive function that tests theories using case studies to assess a *priori* models, and an inductive function that generates theories using recurring patterns of case studies to generalize postulates. In practice, case study methodology cannot dissociate these two functions. The process is highly iterative, comparing the emerging framework with the evidence from each case in order to shape and sharpen hypotheses and confirm the relevance of patterns and models (Eisenhardt, 1989). As a result, the case study methodology can be understood as a succession of codified intellectual processes: definition of the research boundaries, categorization of the constitutive dimensions of the studied phenomena, identification of patterns by linking these dimensions, validation of these patterns by means of the case studies (Mucchielli, 2006). Starting from the definition of boundaries for this analysis,

we are then able to select cases in order to collect data mainly of qualitative nature, though interviews performed on site and a literature review. The core of our research is the analysis of data, coupling within-case analysis and a cross-case search for patterns. Fig. 1 presents the general methodological framework presented in the following sections.

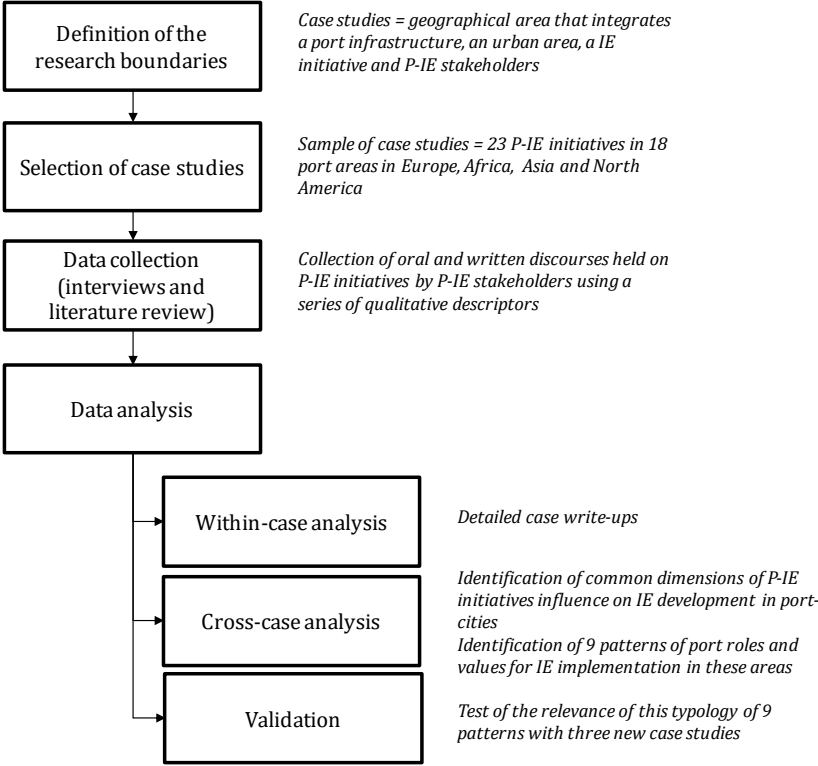


Fig. 1: Methodological framework of the case study analysis

2.1. Definition of the research boundaries and selection of case studies

The sampling framework is theoretically guided by the research question, which addresses the role and capacity of ports to foster the implementation of IE in port cities. The research boundaries must guide the selection of the sample in order to group together case studies that have common characteristics and can provide data to answer this research question (Mucchielli, 2006). The case study is the unit of this analysis (Miles and Huberman, 2003). In order to fit with the scope of this research focus, case studies are defined as geographic areas that combine:

- A port infrastructure with a logistic function of transit, storage, collection and distribution as well as industrial processing for the main material and energy flows (Van Klink, 1994) between land and water transportation. Ducruet *et al.* (2013) define 8 types of ports considering the linkages occurring between the port infrastructure and the host territory: for instance, metropolitan and industrial port regions are characterized by important demographic, economic and port concentrations, handling more international traffics than world average. Metropolitan port regions are richer, more densely populated and service-oriented, whereas industrial port regional are dominated by production and transformation activities. Productive and bulky port regions are large regions with high GDP and lower international and general cargo traffic than world average. Bulky port regions are specialized in solid bulk traffics, while productive port regions are richer and more industrialized than average, handling more imports and liquid bulk. Deprived port regions are defined by poor economy performance and higher specialization in primary activities. Finally, traditional port regions are characterized by a smaller size and a specialization in solid bulk traffics and primary sector ;

- An urban area with historical or current links with this infrastructure, Ducruet (2004) identifies 9 types of port-city models, from coastal port town to world port city depending on city size and port traffic;
- A number of industrial symbiosis initiatives referring to Chertow (2000)'s taxonomy material exchanges within a facility, firm, or organization; among firms collocated in a defined eco-industrial park; among local firms that are not collocated; and among firms organized "virtually" across a broader region. Three types of industrial symbiosis can occur: by-product exchanges, utility sharing or facilities management optimization, and cooperation on issues of common interest such as sustainability planning (Chertow *et al.*, 2008; Meneghetti and Nardin, 2012);
- An informal or formal organization of P-IE stakeholders (Table 1) that are both port stakeholders (Van Klink, 1998; de Langen, 2006) and IE stakeholders (Baas and Boons, 1997; Chertow, 2000; Brullot, 2009; Cerceau *et al.*, 2013).

Table 1: Definition of P-IE stakeholders

| Port stakeholders (Van Klink, 1998; de Langen, 2006) | IE stakeholders (Baas and Boons, 1997; Chertow, 2000; Brullot, 2009; Cerceau <i>et al.</i> , 2013) | P-IE stakeholders |
|---|--|--|
| Port authority, local government, national government | Local authorities, decentralized state services and agencies | → Port authorities, local authorities, national government |
| Port specific activities (transshipment, ship repair), port related activities (manufacturing, distribution, wholesale), final users of the port (import, export) | Companies, professional networks | → Companies |
| Local associations | Networks, consulting agencies Universities, research institutes | → Network stakeholder → Research stakeholder |

The sampling strategy consists in identifying case studies that gather these characteristics on the basis of a literature review and interviews with port network organizations (Worldwide Network of Port Cities AIVP, International Association of Ports and Harbors, Port Management Association of Eastern and Southern Africa) and IE communities (National Industrial Symbiosis Program). It follows an iterative and investigative logic, working in progressive "waves" as the study progresses (Miles and Huberman, 2003). Finally, the sample is composed of 23 P-IE initiatives taking place in 18 ports. Each P-IE initiative constitutes what is hereafter called a "case study". These case studies are identified, documented and analyzed by means of individual or collective interviews of 67 P-IE stakeholders (Table 2).

Table 2: P-IE initiatives case studies, sample of the case study analysis

| Port-city areas | P-IE initiatives case studies | Type of port region (Ducruet <i>et al.</i> , 2013) | P-IE stakeholders Interviewed (number) |
|--|---|--|--|
| Europe | | | |
| Port of Fos-Marseille (France) | IE strategy | - | Port authority : 2 |
| Zeeland Seaports (Netherlands) | Biopark Terneuzen Hidden Connections | Productive port region | Port authority : 1 |
| Port of Rotterdam (Netherlands) | Bioport of Europe | Metropolitan port region | Port authority : 2 Research stakeholder: 2 |
| Port of Antwerp (Belgium) Port of Brussels (Belgium) | Antwerp Sustainable policy Brussels' collaboration and urban integration | Industrial port region - | Port authority : 1 Port authority : 2 |
| Port of Bristol (United Kingdom) Ports of Galicia (Spain) | Bristol Industrial ecology approach (NISP) Integrated fishing waste management in Ports of Galicia | Productive port region Industrial port region | Network stakeholder : 2 Research stakeholder: 2 Port authority : 1 Network stakeholder: 1 |
| Africa | | | |

| | | | |
|--|--|--------------------------|---|
| Port of Jorf Lasfar (Morocco) | OCP Eco-industrial symbiosis | - | Company: 3 Research stakeholder: 3 |
| Ports of Morocco | Integrated shipping waste management among Moroccan ports | Traditional port region | Company: 1 |
| Port of Bejaïa (Algeria) | Cevital eco-industrial synergies | - | Port authority : 4 Company: 3 Local authority:1 |
| Asia | | | |
| Port of Osaka (Japan) | Eco-industrial synergies of Osaka Gas Co. Osaka Bay Phoenix Project | Metropolitan port region | Port authority : 1 Local authority: 4 Company: 3 |
| Port of Kawasaki (Japan) | Kawasaki recycling port Kawasaki eco-town | Metropolitan port region | Local authority: 4 Network stakeholder: 1 Research stakeholder: 5 |
| Port of Tianjin (China) | Tianjin Port symbiosis | Bulky port region | Port authority : 4 Network stakeholder : 2 |
| Port of Ningbo (China) | Ningbo Port symbiosis | Bulky port region | Local authority : 4 Research stakeholder: 1 |
| Port of Ulsan (South Korea) | Ulsan Port symbiosis | Industrial port region | Port authority: 3 |
| Port of Map Ta Phut (Thailand) | Map Ta Phut Eco-industrial estate | - | Company : 1 Research stakeholder: 1 |
| North America | | | |
| Port of New York / New Jersey (United States) | NY/NJ Harbor Consortium NY/NJ Dredged materials reuse | Metropolitan port region | Research stakeholder: 1 |
| Port of Long Beach (United States) | Collaborative dredged material management (Long Beach) | Deprived port region | Port authority: 1 |

The representativeness of the qualitative analysis sample cannot be assessed on statistical grounds (Miles and Huberman, 2003). It deals with theoretical saturation defined as the phase of qualitative data analysis in which the researcher has continued sampling and analyzing data until no new data appear and all concepts in the theory are well-developed (Morse, 2004). The sample's relevance must be assessed in terms of its capacity to develop and consolidate a theorization process (Paillé, 2004).

2.2. Data collection

Early in the data collection process, case study analysis needs to cope with the overwhelming volume of data. Data collection must gather elements that highlight the particular role and value of ports for IE planning and implementation in port-cities: when did the port stakeholders intervene in the IE process? To what extent are port stakeholders involved in the IE initiatives? What is the centrality of the port area within the boundaries of the IE project? How does the port strategy integrate IE objectives? Etc. Cases are studied using a range of qualitative descriptors to collect and organize such elements. The selected descriptors (Table 2) consider industrial symbiosis case studies literature as well as insights from the research objective itself. This common analysis grid participates in a replication strategy (Yin, 1984) which will allow a cross-case comparative analysis.

Table 3: Within-case descriptors used for the analysis of each case study

| Within-case descriptors | Collected information | References |
|-----------------------------------|---|---|
| Period | Main dates of the IE approach | Bossilkov et al, 2005 |
| Boundaries | Geographic perimeter of the IE's implementation (port city, port-based industrial complex, port region, port network) | Argawal and Strachan, 2006; Van Klink, 1998. |
| Major environmental issues | Environmental issues motivating the implementation of IE (availability of resources, land pressure, air pollution, water pollution, waste management) | Argawal and Strachan, 2006 |
| Type of synergies | Characterization of industrial symbiosis | Bossilkov et al, 2005; Argawal and Strachan, 2006; |

| | | |
|--|--|---|
| Involved stakeholders | Stakeholders involved in the P-IE approach (international institutions, central government, local authorities, port authorities, firms, academics) | Gibbs and Deutz, 2007 Gibbs and Deutz, 2007; Argawal and Strachan, 2006 |
| Coordinating structure | Identification of an IE leadership embodied in a dedicated structure | Bossilkov et al, 2005 |
| Financial support | Identification of financially involved stakeholders | Gibbs and Deutz, 2007 |
| Link with port development strategies | Highlights of port strategic orientations correlative to IE objectives and principles | |
| Communication | Level of communication of the IE approach (data transparency among stakeholders, local communication, international diffusion) | Bossilkov et al, 2005 |

Data collection is mainly of qualitative nature. It was performed by means of individual or collective interviews performed on-site and a literature review in order to gather both oral and written discourse on the P-IE planning objectives.

Interviews were conducted using a semi-directive approach. The first part of the interview allowed the P-IE stakeholders to express themselves freely so as to present the P-IE initiatives as they intended. The second part consisted in covering a series of complementary themes and questions in order to make sure all within-case descriptors had been filled in (Table 4). Interviews were transcribed by means of a systematic qualitative note-taking process (Paillé, 2004) in order to record both the exchanges and the researcher's observations that occurred during the interview. The literature review concentrated on the analysis of written discourse produced by P-IE stakeholders (articles, presentations, posters, communication brochures, etc.). It followed the same analysis grid, in order to prepare and complete data collected through interviews. The collection and analysis were static, considering the planning objectives as they were communicated during the period 2011-2012. The analysis was based on publicly available information.

Table 4: Interview guidelines (abstract of the interview led in Ulsan, South Korea)

| Within-case descriptors | Collected information |
|--|--|
| Boundaries | What is the geographic organization of Ulsan coastal area? How far is Ulsan industrial park from the port? What definition would you give of this whole region in terms of circular economy? And, in your opinion, what specific role of coastal areas in the development of EIP in South Korea? |
| Type of synergies | How many synergies occur between Ulsan industrial park's companies and port area companies? What material links are developed with the maritime industry (concerning the management of shipping waste, sludge for instance)? Are or can they be integrated within the petrochemical ecosystem network? |
| Involved stakeholders | Do you know what are the main missions and skills of the Port authority, and/or the different port stakeholders? Do they play an important role in local and territorial development? How can these missions and skills contribute to the implementation and development of synergies? In terms of governance, what are the role and the function of the Port Authority (and the local government) in Ulsan's organization, planning and implementation? What are their implication and participation at the different steps of its development? |
| Link with port development strategies | To what extent is the EIP approach integrated in the economic development, attractiveness and competitiveness of the port area? |

2.3. Data analysis

Having defined the research boundaries, the next step consisted in analyzing collected data in order to identify recurrent patterns for the roles and values of ports for IE planning and implementation in port-cities. Data analysis began with a within-case study. It involved detailed case study write-ups for each case study producing a stand-alone description (Eisenhardt, 1989), using a common analysis grid (Table 3). From these descriptions, the objective was to confirm whether IE was implemented, consciously or not, in

port-cities and to present the diversity of P-IE initiatives carried out in Europe, North America, Asia and Africa.

In order to help the emergence of common patterns among this staggering volume of data, data analysis was continued by means of cross-case analysis. Through the study of discourse collected through the interviews of port stakeholders involved in IE initiatives together with the literature review, the first aim was to categorize the constitutive dimensions of the influence of P-IE initiatives on IE development in port-cities. P-IE discourse was compared to the prospective framework (Godet, 2004; Genet *et al.*, 2005) and port literature (Raimbault *et al.*, 2010; Ducruet, 2008; Van Klink, 1998), in order to clarify the various levels of their temporal and spatial dimensions. On the basis of these temporal and spatial dimensions, a P-IE typology was elaborated by identifying the different patterns of port role and value for local IE implementation. In order to test the theoretical saturation (Morse, 2004) of this model, we ensured that these different patterns can be used to describe any other current case study. This typology was tested with two P-IE initiatives that are not part of the sample: the P-IE initiatives of Kalundborg (Denmark) and Kwinana (Australia).

3. Within-case studies: overview of IE initiatives in ports

Our research reveals that new visions and practices are emerging in ports worldwide, ranging from pragmatic synergies between firms developing pooling of utilities and facilities, to the integration of IE within port strategic policy and prospective. Using the common within-descriptors analysis grid, Table 5 presents a global overview of the main features of P-IE initiatives in Europe, Africa, Asia and North America, based upon publicly available information gathered through the interviews and literature review.

3.1. European P-IE initiatives case studies

IE cases in Europe are relatively numerous in ports: P-IE initiatives are inventoried in the Netherlands, Belgium, United Kingdom, Spain and France. In France for instance, with the expansion of the port city of Marseille and the development of port-based industrial complexes further to the west – Etang de Berre from the 1920s and Fos from the 1960, the implementation of energy intensive companies and the Liquefied Natural Gas (LNG) terminal led to the development of by-products exchanges. More recently, the Port of Marseille-Fos considers IE as an attractiveness factor for the establishment of new businesses and the evolution of the Port's mission toward local energy production and supply. Initial studies were carried out in 2004 and 2005 (Junqua *et al.*, 2005, 2006; Junqua and Moine, 2007), enabling the identification and modeling of potential synergies and new activities. Research projects contribute to enhancing IE approaches in Marseille (Mat *et al.*, 2012; Mat and Cerceau, 2011). Other projects such as VASCO and SALINALGUES aim at capturing or reusing CO₂, for microalgae production in particular.

The Port of Rotterdam's IE approach is one of the oldest P-IE initiative cases inventoried. The first initiatives were launched in 1990 by companies, mobilized with regard to environmental issues in response to tighter regulation, with the support of the Universities of Rotterdam and Delft. A first research program (INES Program 1994-1997) led to the analysis of materials and energy flows and to the detection of 15 opportunities for synergies. Joint systems for compressed air, waste water circulation and bio-sludge reduction system were selected for further feasibility studies (Baas and Huisingsh, 2008). A second research program (INES Program Mainport 1997-2004) extended the scope of study and governance approach to consider the establishment of "Vision 2010", a strategic plan for the region ROM Rijnmond (Baas and Boons, 2007). Nowadays, "Port Vision 2030" embodies the integration of IE in the Port authority's strategy, focusing on the reuse of CO₂ and the limitation of GHG emissions across the port-based industrial complex, in order to lead the industrial transition to a "bio-based industry" through

denser clustering of industrial activities in Rotterdam. This culture of rational use of energy also associates the urban component of the port area. Bringing focus on the articulation of port, industrial and urban needs, the Rotterdam Climate Initiative is a multi-stakeholder approach involving the Port Authority and the City of Rotterdam in the optimization of energy management, for instance with the construction of a 26 km long pipeline to provide heat from the port area to 50,000 homes (Baas and Boons 2007).

The Port of Antwerp considers IE approaches as an attractiveness factor for the establishment of new businesses. Relationships developed between companies and flows exchanges opportunities are presented as a real vector of competitiveness and business efficiency. The Port Authority acts as a stakeholder for 1/ funding synergies (for instance, shared funding audits on energy consumption for 500 companies), 2/ leading projects for the pooling of equipment or services (for instance, the construction of a deionized water plant for petrochemical industries), 3/ mediating between the city, companies and institutions on structuring projects for sustainable development in the port area (for instance, the development of a network of waste heat recovering for the city and businesses, and the implementation of a network for the exchange of CO₂ between the companies in the chemical sector) (Delhove, 2012).

As an attractiveness and competitiveness factor, IE is also a relevant means for European ports to develop in areas constrained by a lack of land, “Not In My Back Yard” effects and environmental regulation. Zeeland Seaports applies IE by optimizing resource management, in order to convert these regulatory and social pressures into opportunities for the development of the port-based industrial complex. The Terneuzen Biopark embodies this IE approach. Within a cluster, companies have spontaneously developed eco-industrial synergies (CO₂, water and biomass synergies). The Warm CO₂ initiative collects the thermal and CO₂ surplus of Yara to feed agricultural and horticultural greenhouses. The Port Authority appropriates this dynamic through its sustainable development strategy (Zeeland Seaports, 2011 (a)). The implementation of a multi-utility provider (Interreg IV PATCH project), a pipeline network, will enlarge and systemize the range of flows exchanged (Zeeland Seaports, 2011 (b)).

3.2. North-American P-IE initiatives case studies

Case studies analyzed in North America do not systematically refer to the concept and vocabulary of IE. However, there are initiatives carried out by North American port authorities that fall within the sphere of IE. In the Port of Long Beach, for instance, a land development project provides a Port-to-Port collaborative response to the problem of managing contaminated dredged material on the Californian coast. The Middle Harbor Project required 7 million cubic meters of material to cover 50ha of sea, of which 3 million could not be provided locally. Six Californian ports and marinas proposals were finally accepted for the quality of their materials and their ability to meet the project schedule. This port-to-port symbiosis enabled 1.3 million cubic meters to be diverted from landfill (Port of Long Beach, 2011)

The harbor basin of New York / New Jersey is another emblematic example of P-IE initiatives in North America. The first application of IE tools (flow analysis, mass balance) in this area dates back to the early 1990s (Rod *et al.*, 1989). In 1997, the New York Academy of Science set up a working group of 70 institutions to evaluate the relevance of applying IE tools in the port area of New York / New Jersey. The Harbor Consortium was constituted to apply a renewed governance system involving multiple port stakeholders (industrial, public, scientific, institutional) and articulate different jurisdiction levels (municipal, state, federal). Results at a watershed scale allow targeting policies to prevent pollution by sectors of economic activity. Among objectives pursued by port stakeholders are 1/ the reduction of contaminants flows (mercury, cadmium, PCBs, dioxins, PAHs and suspended solids) from unidentified sources of pollution scattered throughout the watershed (Boehme *et al.*, 2009), 2/ the implementation of a regional plan for sediment management by in and ex-situ treatment technologies coupled with remediation and recovery opportunities (Stern *et al.*, 2009).

3.3. Asian P-IE initiatives case studies

There are numerous cases studies in Asia. Indeed, China is recognized world-wide known for having inscribed IE principles in its National Development Plan with the Circular Economy Promotion Law, and for implementing it in its “National Pilot Eco-Industrial Park Program”. The implementation of the Circular Economy approach is a major feature of the recent Chinese 5-year plan. Several examples of implementation are underway, especially in ports. For instance, since the early 2000s, the Ningbo Beilun region has been a pilot territory for the national circular economy strategy. In 2005, industrial symbioses in the Ningbo chemical zone led to its certification as “Circular Economy Pilot Park” (Wang *et al.*, 2008). The Ningbo Beilun District Authority, in charge of the development of a coastal industrial zone of Ningbo, is currently promoting a strategy for emission reduction and efficient energy use. There are several short-term projects that directly refer to circular economy principles: for instance, 1/ the use of the cold generated by the LNG regasification unit in an air liquefying process to reduce power consumption by 56%, 2/ the recovery of the gaseous by-products of a Ningbo metallurgical company to extract 60% of the hydrogen resources required by plastic and steel producers across the area and 3/ the recovery of solid metallurgical by-products by opening an integrated sorting treatment center for reusing the waste produced by the metallurgical industry (powder coke for example), in the construction and production of high-performance magnets (Beilun District, 2012).

South Korea has also initiated an extensive program of experimentation and diffusion of IE in its industrial parks, including ports. Some port cities such as Ulsan have developed a symbiotic network, resulting in the development of more than 70 synergies, exchanges of utilities and pooling of equipment, contributing to significant reductions of impacts on the environment (Park and Won, 2007).

Japanese ports are also interesting laboratories for IE experimentation at various scales: from the company located in the port-based industrial complex to the port region. Japan has national programs that have adopted IE principles. During the 1990s, Japan launched its "Eco-Town Program" aimed at developing the concept of "zero-emission" in 26 territories, mostly port-cities, to build a society based on a resource recycling economy (Fujita, 2011). The port city of Kawasaki is one of the most successful examples. The project began in 1997 with concrete synergies concerning waste management, energy and water recovery, and a significant limitation of impacts on the environment (Maki, 2009). Japan has also launched the "Recycling ports" national program which aims at developing a recycling-based society build on a flow distribution network around port areas, creating logistical recycling bases and pooling resources, infrastructure and technology. 18 ports have already been identified as part of this program. Osaka Bay remains the most emblematic example of this multi-scale approach of IE: the Osaka Bay P-IE initiatives take place 1/ at the firm level with, for instance, the thermal utilities exchanges developed by Osaka Gas Co. on the LNG terminal with a petrochemical plant and a refinery (Otsuka, 2006); 2/ at the port area level with the implementation of the “Recycling Port” program in order to raise Osaka port to the status of national recycling hub; 3/ at the port city level with the “Eco-Town Program”; at the port region level with the Osaka Bay Phoenix Project creating a wide urban, industrial and port waste collection and recycling network among 195 municipalities and 4 ports in order to build 4 off-shore disposal sites contributing to port land development (Higushi, 2004).

3.4. African P-IE initiatives case studies

Industrial symbioses in African ports are more difficult to identify due to poor communication at international level. The African case studies analyzed reveal spontaneous collaborative resource management initiatives, developed in order to optimize waste and by-product management (environmental connotation) and promote local anchorage (socioeconomic connotation) for major economic activities in port areas. The inventoried and documented P-IE initiatives were carried out by major Moroccan and Algerian industries. The port area of Bejaia, in Algeria, is tackling many

environmental issues, such as port-based industrial waste management, including organic waste produced by a major industrial site located on the Port. In order to reduce its outputs, Cevital has developed an eco-industrial synergy with local producers of soap, paint and mastic in order to collect and recycle acid oils and acids.

The Office Chérifien des Phosphates (OCP), a major stakeholder in the Jorf Lasfar port area in Morocco, has developed an ambitious environmental management system whose actions benefit not only the OCP but also the local communities. The OCP has implemented a series of collaborations with local stakeholders (neighboring towns, businesses, etc.) to optimize water and energy consumption and better integrate its activities into the local context. These synergies include, in particular, the valorization of surplus thermal energy, enabling the port-based industrial site to move toward energy self-sufficiency and providing energy to a sea water desalination unit to power both the desalination process and part of the nearby town of El Jadida. The optimization of washing cycles on the upstream extraction site enables the recycling of 85% of water in a closed circuit and the reuse of treated water from the Khouribga wastewater treatment plant, leading to a significant reduction in groundwater consumption by the mining site.

Table 5: Main features of P-IE initiatives

| P-IE initiatives | Period | Boundaries | Major environmental issues | | | | | Type of synergies | | | P-IE stakeholders involved | | | | | | Coordinating structure | Financial support | Link with port development strategies |
|---|-----------|---------------------------|----------------------------|---------------|---------------|-----------------|------------------|---------------------|-----------------|-------------|----------------------------|-----------------|--------------------|-----------|----------------------|-----------------------|---|--|---|
| | | | Availability of resources | Land pressure | Air pollution | Water pollution | Waste management | By-product exchange | Utility sharing | Cooperation | Port authority | Local authority | National authority | Companies | Network stakeholders | Research stakeholders | | | |
| Europe | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Port of Fos-Marseille (IE strategy) | 2004-... | Port area | X | | X | X | X | | | | | X | X | | | X | - | Port authority, companies | IE as a driver for energy transition |
| Zeeland Seaports (Biopark Terneuzen) | 2005-... | Port area | X | X | | | | X | X | | | X | X | | | | Biopark project agency | Port authority, Companies | IE as a lever for resilience of port development |
| Zeeland Seaports (Hidden connection) | 2010-... | Port network | X | | X | | | | X | | | X | X | X | | | INTERREG consortium | European Union, Port authority, Companies | IE as a lever for resilience of port development |
| Port of Rotterdam (Bioport of Europe) | 1994-... | Port area and Port region | X | X | X | | | X | X | | | X | X | | | X | EBB → Deltalinqs | National government, Port authority, Companies | IE integrated in the “Port Vision 2030” strategy |
| Port of Antwerp (sustainable policy) | 2000s-... | Port area | X | X | X | | | X | X | | | X | | | | | - | Port authority, companies | - |
| Port of Brussels (collaboration and urban integration) | 2010-... | Port area and Port region | X | X | | | | X | X | | | X | | | | | - | Port authority, companies | - |
| Port of Bristol (IE approach) | 2009-... | Port region | X | | X | | | X | X | | | X | X | X | X | | NISP | National government, local government, companies | IE as a lever for port development |
| Ports of Galicia (Integrated fishing waste management) | 2007-... | Port network | | | | | | X | | X | | | | | | X | CETMAR | International institutions, national government | - |
| Africa | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Port of Jorf Lasfar (OCP eco-industrial symbiosis) | 2008-... | Port region | | X | | X | X | | | | | X | X | X | X | | Economic interest group (OCP, Port, National Port Agency) | National government, companies | IE as a lever for company’s development and territorial anchorage |
| Ports of Morocco (integrated shipping waste management) | 2000-... | Port area and Port region | | | | X | X | | X | | | X | X | X | X | | Economic interest group PROGRES | National government, local authority, company | Ship waste management |
| Port of Bejaïa (Cevital eco-industrial symbiosis) | 2005-... | Port area | | | | X | X | | X | X | | X | | | | | - | Company | - |
| Asia | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Port of Osaka (Osaka Gas Co.) | 1972-... | Port area | X | | X | | X | X | | | | | | | | | - | Company | - |
| Port of Osaka (Osaka Phoenix) | 1990-2027 | Port region | | X | | | X | | X | X | | X | X | X | | | Osaka Bay Regional | National government, Local authorities, Port | Off-shore land development for port |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----------|---------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|--|---|
| project) | | | | | | | | | | | | | | | Offshore Environmental Improvement Center | authorities | area extension |
| Port of Kawasaki (Recycling port) | 2003-... | Port network | X | | | X | X | X | X | X | X | | | | Ports and Harbour Bureau | National government, local government, port authority | Functional definition of the port in terms of waste management |
| Port of Kawasaki (Eco-town) | 1997-... | Port region | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | Zero-emission industrial complex association Liaison center for creation of industry and environment | National government, local government, port authority, companies | - |
| Port of Tianjin (Port symbiosis) | 2005-... | Port area | X | | X | X | X | X | X | | | X | | | - | Port authority, companies | IE as a lever to become the 1st world ecological port |
| Port of Ningbo (Port symbiosis) | 2000-... | Port area | X | | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | Ningbo circular economy promotion association | National government, local authority | - |
| Port of Ulsan (Port symbiosis) | 1995-... | Port area and port region | X | | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | Ulsan Eco-center, Korean Industrial Complex Corporation | National government | IE as a lever to become one of the most environmentally efficient port in the world |
| Port of Map Ta Phut (Thailand) | 1998-... | Port area | X | | | | X | X | | | | X | X | X | Eco-center | National government | - |
| North America | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Port of New York / New Jersey (Harbor consortium) | 1980-... | Port region | | | X | | | | X | X | X | X | X | X | Harbor Consortium | National government, port authority, companies | Pollution prevention |
| Port of New York / New Jersey (Dredged Material reuse) | 1998-... | Port region | | | X | X | X | X | | | | X | X | X | - | National government, companies | - |
| Port of Long Beach (Collaborative dredged material management) | 2011-2012 | Port network | X | | X | X | X | X | X | X | X | | | | - | Port authorities | Land extension for port development |

4. Cross-case analysis: IE patterns for P-IE initiatives

4.1. Constitutive dimensions of P-IE initiatives

The objective is to highlight to what extent and in what ways P-IE initiatives deliberately or spontaneously influence local IE implementation. The analysis of the oral and written discourse produced by P-IE stakeholders revealed that this influence can be characterized through its temporal and spatial dimensions: to what extent do P-IE initiatives participate in local planning or development? To what extent do P-IE initiatives spread their influence spatially? A cursory look at Table 6 reveals the diversity of timeframes mentioned in discourse on P-IE initiatives. Some discourse refers to short-term timeframes, emphasizing “demonstration projects” in the port-city of Antwerp, or “conducted within two years” in the port-based industrial area of Ningbo. Other discourse demonstrates medium-term objectives for the P-IE initiatives, focusing on the time required for evolution, innovation and optimization. Finally, some discourse targets long-term ambitions. For instance, the P-IE initiative of the Port of Rotterdam is defined as a “vision” for 2030.

On the basis of the analysis of this discourse, it is possible to state that different temporal references echo the strategic prospective tool box (Godet, 2004; Genet *et al.*, 2005):

- the “*operational planning*” level describes IE approaches conducted as a short-term reaction to a declared urgent situation, for instance industrial pollution and health safety issues, in order to resolve and better control the flows concerned. In discourse, this appears through references to short-term timeframes (“short term projects”) and occasional opportunities (“uniquely”), for instance;
- the “*technical planning*” level concerns IE approaches performed as a medium-term strategy precaution in response to forecast changes which would cause higher costs if not prevented. It can be detected through references to optimization processes (“evolution of process”), innovation (“innovative strategy”), and continuous improvement (“work in progress”, “learn from the past”);
- the “*strategic planning*” level characterizes IE approaches intended to achieve long-term ambitions in order to provoke required changes among stakeholders. It is formalized in discourse by a long-term timeframe vision, plan or projection (“in 2030”).

Table 6: Temporal influence of P-IE initiatives on local IE implementation

| Port IE approaches | Temporal influence of P-IE initiatives | Sources |
|-----------------------|--|-----------------------------|
| Europe | | |
| Port of Marseille/Fos | IE strategy : « the industrial ecology study aims at identifying new ways of development and diversification of activities » | Junqua and Moine, 2007 |
| Zeeland Seaports | Biopark Terneuzen : “Biopark Terneuzen is a work in progress” | Zeeland Seaports, 2011 (a). |
| | Hidden Connections : “Zeeland Seaports aims to promote itself in the market as a sustainable port” | Zeeland Seaports, 2011 (b). |
| Port of Rotterdam | Bioport of Europe : “the vision of the port of Rotterdam and industry in 2030 must be, above all, ambitious” | Port of Rotterdam, 2011 |
| Port of Antwerp | Antwerp’s Sustainable policy : “demonstration projects to maintain a dynamic of sustainable development” | Interview |
| Port of Brussels | Brussels’ collaboration and urban integration : “the European C2C BIZZ program extends over a period of 4 years (2011-2014).” | Fremault, C., 2012 |
| Port of Bristol | Bristol IE approach : “Provide economic benefits to the port and its tenants and neighbors, [...], reduce environmental impacts such as diverting waste from landfill and CO2 reduction.” | Royston, K., 2009. |
| Ports of Galicia | Integrated fishing waste management : “Improve sea water and coastal quality by a correct use of fishery equipment and the improvement of fishing waste recycling” | 3R Fish White Book, 2011 |
| Africa | | |
| Port of Jorf Lasfar | OCP Eco-industrial symbiosis : “development of new services in a competitive context”. | OCP, 2011. |
| Ports of | Integrated shipping waste management among Moroccan ports : “Proposes professional | Interview |

| | | |
|------------------------------------|--|--------------------------------------|
| Morocco | chain for recycle and reduce to ship waste producers in demand". | |
| Port of Béjaia | Cevital eco-industrial synergies: "diversification strategy" | Interview |
| Asia | | |
| Port of Osaka | Eco-industrial synergies of Osaka Gas Co.: Osaka Gas carries out complete 3R (reduce, reuse, recycle) activities for various processes in its energy business", through the "evolution of the LNG Cold use process" | Otsuka, T., 2006. |
| | Osaka Bay Phoenix Project : "[...] ensure the long-term safety of waste storage sites in port areas, [...], to improve the functionality of the ports using off-shore reclaiming land." | Higushi, 2004. |
| Port of Kawasaki | Kawasaki eco-town: "building a sustainable society where industrial activities are in harmony with the environment" | Fujita, 2006. |
| | Kawasaki recycling port: "part of the basic plan for establishing the recycling-based society" | Higuchi, 2012. |
| Port of Tianjin | Tianjin Port symbiosis: integration of circular economy principles as a lever for competitiveness (to attract foreign investment)" as part of 5-year plans. | Interview |
| Port of Ningbo | Ningbo Port symbiosis : "Development strategy in order to reduce emissions and energy use" with 10 major projects conducted within 2 years. | Beilun District, 2012. |
| Port of Ulsan | Ulsan Port symbiosis: "Working toward a green port" as a factor of competitiveness | Interview |
| Port of Map Ta Phut : | Map Ta Phut Eco-industrial estate: "Decreasing environmental impacts and demand of natural resources, improvement of business performance, improvement of quality of life", but "since 2009, the question is how to build the concept again". | Charmondusit et al., 2007; Interview |
| North America | | |
| Port of New York/New Jersey | Harbor Consortium: "Apply the analytical tools of IE, [...] identify and implement strategies and policies to prevent the continuing loading of 5 contaminants." | Boehme et al. 2009. |
| | Dredged materials reuse: "to solve sediment related problems" by "develop[ing] and demonstrate[ing] technologies" | Stern, E. 2009. |
| Port of Long Beach | Collaborative dredged material management: "Opportunity to uniquely dispose of contaminated material". | Port of Long Beach, 2011. |

Concerning the spatial influences of P-IE initiatives, Table 7, which was compiled on the basis of interviews with port stakeholders involved in IE initiatives and a literature review concerning those case studies, shows that P-IE initiatives are characterized by interventions within various boundaries: "the port and the city", "the site", "the city", "the watershed". On the basis of the analysis of this discourse, it is possible to state some initial provisional results: the port area is structured as a platform where the circulation of flows is organized. As a fixed infrastructure and area, this platform acts as a pole that centralizes flows in order to irrigate and drain a much wider area (Raimbault *et al.*, 2010). This centrality of the port area can have multiple dimensions, from local to global (Ducruet, 2008). Van Klink (1998) proposes, as a synthesis of this diversity, a broad definition of the port's geographic area of influence. Depending on the focus given to their historical functional and spatial development, "port" can refer to the port area, the port city, the port region or the port network. These different scales can also highlight the perimeter of influence of P-IE initiatives on the local implementation of IE:

- the *port area* known as the port-based industrial complex, designated in discourse as "the port area", "production plants" or "terminal";
- the *port city and the port region* covering the perimeter of the port as well as surrounding areas, understood as different geographic entities such as the "city" or "town", the "coastal area", the "hub", the "watershed" or "the bay";
- the *port network* understood as a borderless and discontinuous area defined by interactions between the port and other locations, and designated by P-IE stakeholders as "network", "canal zone" or "industrial cluster".

Table 7: Spatial influence of P-IE initiatives on local IE implementation

| Port IE approaches | Spatial influence of P-IE initiatives | Sources |
|------------------------------------|--|--|
| Europe | | |
| Port of Marseille/Fos | IE strategy: "industrial ecology and competitive intelligence are complementary tools to support the sustainable development of an industrial area" | Junqua and Moine, 2007 |
| Zeeland Seaports | Bipoark Terneuzen: "a logical extension of its overall management and development of the port areas of Terneuzen and Visslingen" Hidden Connections: "The development of a uniform pipeline network to promote sustainable industry in the Ghent-Terneuzen canal zone" | Zeeland Seaports, 2011 (a). Zeeland Seaports, 2011 (b). |
| Port of Rotterdam | Bioport of Europe: "'Rotterdam's industrial complex will have integrated with industries in Antwerp, Moerdijk, Terneuzen and Flushing by 2030, effectively creating one big, world-leading petrochemical complex: Europe's Industrial Cluster. More interconnecting pipelines will have been built for that purpose." | Port of Rotterdam, 2011 |
| Port of Antwerp | Antwerp's Sustainable policy : "BASF's Verbund structures and high-efficiency power plants" and "add value as one company through efficient use of our resources" through "intelligent interlinking of production plants" | BASF, 2012. |
| Port of Brussels | Brussels' collaboration and urban integration: "An innovative approach to improve their environmental performance by creating inter-firm synergies" and "industrial ecology synergies with neighboring businesses in the industrial area" [...] "on industrial parks Mercator Galilei and Technopark, located in Neder-over-Heembeek and managed by the SDRB " | Fremault, C., 2012 |
| Port of Bristol | Bristol IE approach: open the boundaries: from the "port estate" to the "industrial estate" by "identifying synergies" | Interview |
| Ports of Galicia | Integrated fishing waste management: "participate in a global network of stakeholders committed to understanding, preventing, reducing and managing marine debris, "foster inter-sector collaborative actions" such as the "emergence of companies producing new design products by transforming fishing nets" | 3R Fish White Book, 2011 |
| Africa | | |
| Port of Jorf Lasfar | OCP Eco-industrial symbiosis: "Federate subcontractors by developing joint venture on a project development and implementation of industrial ecology" around the extraction and production sites OCP" | Donsimoni, 2012 |
| Ports of Morocco | Integrated shipping waste management among Moroccan ports: "PROGRES disposed 5 centers grouping products collected in the main cities of the Kingdom." | Serfati, A, 2012 |
| Port of Béjaia | Cevital eco-industrial synergies: "Implementation of power plants to supply its food complex" | Interview |
| Asia | | |
| Port of Osaka | Eco-industrial synergies of Osaka Gas Co.: "sharing the utilities with neighboring companies, and by further promoting the use of LNG cold" on the "LNG receiving terminal of Osaka Gas" Osaka Bay Phoenix Project : "on the Kinki District, "construct, by reclaiming part of Osaka Bay, stable, long-term sites for appropriate final waste disposal" | Otsuka, T., 2006. Higushi, 2004. |
| Port of Kawasaki | Kawasaki eco-town: "'a new town-building project"[...] "through mutual cooperation among a number of different enterprises and recycling facilities in the coastal area" [...] "whereby companies use wastes and by-products from one industry as useful resources in another" Kawasaki recycling port: "'construction of a comprehensive network distribution system centering around harbors", promoting "nation-wide recycling facilities" | Fujita, 2006. Ports and Harbours Bureau, 2006 |
| Port of Tianjin | Tianjin Port symbiosis: facilities on the basis of aggregate industrial needs in order to maximize the overall energy performance of the area | Interview |
| Port of Ningbo | Ningbo Port symbiosis : on the District of Beilun (Ningbo chemical industrial zone), "resource recycling-type use", "business cycle-type production", "industrial circulating type combination" in order to build "an eco-industrial chain network», "a symbiotic system based on flows exchange" | Beilun District, 2012. |
| Port of Ulsan | Ulsan Port symbiosis: "Ulsan as the hub of industrial symbiosis activities in Korea" by the "development of the symbiotic network" | Park and Won, 2007 |
| Port of Map Ta Phut : | Map Ta Phut Eco-industrial estate: "implementation of the Eco-industrial Estate concept to industrial sectors" through "by-product exchanges" | Charmondusit et al., 2007 |
| North America | | |
| Port of New York/New Jersey | Harbor Consortium: "a diagnosis led on the "NY / NJ Harbor watershed" also designated as "NY/NJ Harbor Estuary" Dredged materials reuse: "Orientate toward a regional management with a system-based (watershed) approach" in order to "transform sediments into a sealeable beneficial use product" | Boehme et al., 2009. Stern, E. 2009. |
| Port of Long Beach | Collaborative dredged material management: "expand the opportunity of reuse of dredged material to other local ports" | Port of Long Beach, 2011. |

4.2. Contributions of P-IE initiatives to local IE implementation

The cross-case analysis of P-IE initiatives highlights that the role of P-IE initiatives in the local implementation of IE can be characterized through its temporal and spatial influence. Linking these two dimensions allows the identification of 9 patterns of P-IE contribution to the implementation of IE in port-city areas (Table 8).

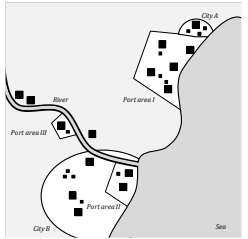







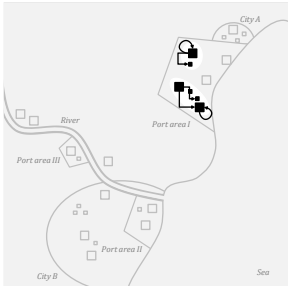
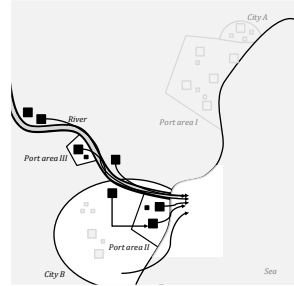
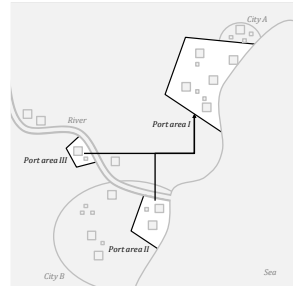
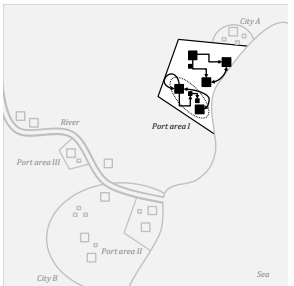
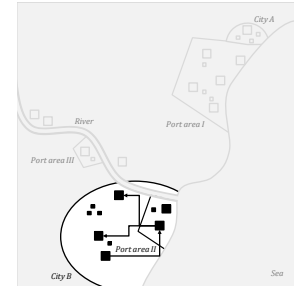
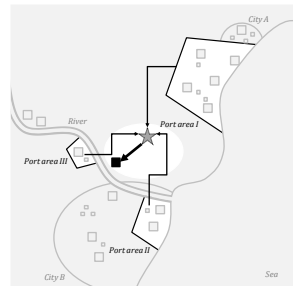
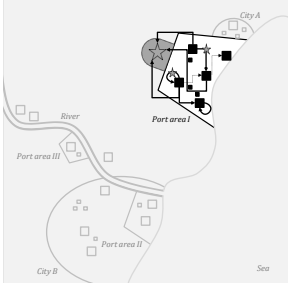
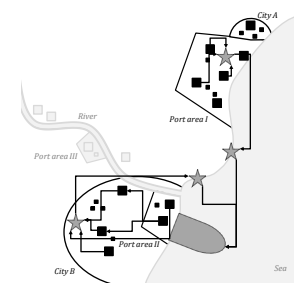
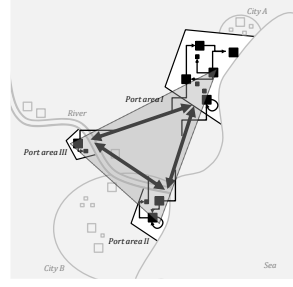
|  <p>Fictitious coastal area, including the mouth of a river, three port-industrial areas, two urban areas and P-IE stakeholders.</p> | PORT AREA | PORT CITY AND REGION | PORT NETWORK | |
|---|--|---|---|--|
| <p>Key</p> <ul style="list-style-type: none">  P-IE area of influence  Excluded area of P-IE area of influence  P-IE stakeholders  Other local stakeholders  Flows  New activity or infrastructure  New area emerging from the local influence of P-IE initiatives | <p>OPERATIONAL PLANNING</p> <p>Short-term reaction to a declared urgent situation</p> | <p>1 - Plot</p>  | <p>4 - Watershed</p>  | <p>7 - Outlet</p>  |
| <p>TECHNICAL PLANNING</p> <p>Middle-term strategy of precaution in response</p> | <p>2 - Complex</p>  | <p>5 - Port-city interface</p>  | <p>8 - Network</p>  | |
| <p>STRATEGIC PLANNING</p> <p>Long-term ambitions in order to provoke needed changes</p> | <p>3 - Ecosite</p>  | <p>6 - Eco-region</p>  | <p>9 - Eco-cluster</p>  | |

Table 8: Patterns of P-IE initiative contribution to local IE implementation

4.2.1. The port as a self-sufficient exemplary area

Some P-IE initiatives attempt to limit negative externalities and to optimize resource management among port-based industrial activities. These approaches thus consider that P-IE initiatives must focus on the development of the port area's IE potential. The role and value of the port for IE is thus confined within the boundaries of the port area.

P-IE initiatives on *port-based industrial plots* (pattern 1) involve the implementation of collaboration between neighboring firms to reduce short-term environmental and regulatory constraints on their activities. In the port of Ningbo, this approach results in 10 major projects to foster by-product exchanges and utility sharing to be conducted in the next two years so as to reduce emission flows and energy consumption (Beilun District, 2012). On the coastal site of Map Ta Phut, byproduct exchanges contribute to reducing the environmental impact and demand for natural resources (Charmondusit *et al.*, 2007). The company Cevital in the Port of Bejaia area is diversifying its business by building a power plant enabling energy flow circulation within the food complex (Interview). In the port of Antwerp, the project aims at developing flow exchanges between production sites (Interview). Industrial ecology is seen as one solution amongst others for the environmental management of the port-based industrial plots.

The *port-based industrial complex* approach (pattern 2) provides a medium-term optimization solution for industrial processes to anticipate changes and maximize the environmental and economic gains related to synergies between businesses. Biopark Terneuzen is defined as a "work in progress" to benefit companies ("Eliminate storage and disposal costs," "lower environmental taxes", "optimize generation costs," "Improve Profitability") (Zeeland Seaports, 2011). The evolution of the "LNG cold use process" led by Osaka Gas Company also assumes a gradual optimization to share utilities with neighboring firms (Fujiwara *et al.*, 2011).

This *eco-site* approach (pattern 3) ranges over the long term in order to strive towards the self-management of externalities generated by port-based industrial activities through the implementation of an eco-industrial development plan.

4.2.2. The port as a driver for local implementation of IE

Other P-IE initiatives aim at developing interactions between the port and the city, and further with the whole region. These approaches thus enhance the local role and value of ports in IE local implementation. As outlets of major pollutant emissions, ports constitute a lever for removing, reducing and transforming pollutants. As neighbors of major urban areas, ports open their administrative boundaries by developing industrial symbiosis at the interface between port-related activities and industrial activities. As drivers of local economic development, ports act as a lever for the implementation of sustainable policies at regional scale.

The *watershed approach* (pattern 4) involves the implementation of short-term multi-stakeholder collaborations, to reduce and prevent pollutant emissions that flow into the port from various sources and accumulate in sediments. For Lifset (2000), the New York port area is like a bathtub: water comes in through the faucets and flows out through the drain. The amount that comes in must add up to the amount that leaves plus any water that remains pooled in the tub. In the port area of New York / New Jersey, the diagnosis tools of industrial ecology were implemented in order to promote actions of pollution prevention, such as the recycling of boat oils (Boehme *et al.*, 2009).

The *port-city approach* (pattern 5) plans technological innovations to optimize the medium-term circulation of flows and the use of infrastructures in the port-city interface. It contributes to enhance the global positioning and sustainability of industrial activities. In Brussels, the C2C BIZZ program is spread over four years and develops an innovative approach to improve environmental performance by fostering

inter-firm synergies (Fremault, 2012). In New York / New Jersey, processes are developed and tested in order to produce municipal compost and road layers from sediment (Stern, 2009, Stern *et al*, 2011). The Office Chérifien des Phosphates, based at the Jorf Lasfar port site, set up a "disruptive and innovative strategy to launch its profound transformation" (OCP, 2011), including the establishment of joint ventures around a project development and implementation of industrial ecology.

The *eco-region approach* (pattern 6) aims at a better functional organization of flow circulation and infrastructure development at regional scale. Within the framework of the Kawasaki Eco-town project, this approach is defined as "a new town building project [...] through mutual cooperation among a number of different enterprises and recycling facilities" (Fujita, 2006). In Osaka Bay, the goal is to "construct [...] stable, long-term sites for appropriate final waste disposal" (Higushi, 2004).

4.2.3. *The port as a node in an inter-port IE network*

Lastly, some P-IE initiatives develop inter-port by-product exchanges and utility sharing. These patterns contribute to emphasize that despite the competitive environment context between ports, the national and international issues in terms of resource and waste management require new forms of collaboration between stakeholders within port areas. Cooperation between ports and port firms should not be considered as impediments to the revitalization of port's economic base but rather as necessary preconditions (Van Klink, 1998).

The *outlet approach* (pattern 7) takes advantage of an opportunity to share and reuse flows generated by port-related activities located in different port areas. The Middle Harbor Project Long Beach, as a port-to-port response to the problem of contaminated dredged material management, is thus defined as an "opportunity to uniquely dispose of contaminated material" (Port of Long Beach, 2011).

The *network approach* (pattern 8) plans the development of new activities and processes at the interface between the stakeholders within a same sector. In Galicia, the objective is to optimize the management of waste from the fishing industry by promoting "the emergence of companies producing new design products by transforming fish nets" (3R Fish White Book, 2011). In Morocco, PROGRES is developing a "professional supply chain to recycle and reduce ship wastes" (Serfati, 2012).

The *eco-cluster approach* (pattern 9) aims at a functional specialization of the port-based industrial activity thanks to infrastructures interconnecting ports for flow management: "the vision of the port of Rotterdam and industry, in 2030, must be, above all, ambitious" (Port of Rotterdam, 2011). In the framework of the National Port Recycling program in Japan, Kawasaki develops the "construction of a comprehensive network distribution system centering around ports" (Port and Harbours Bureau, 2013). The ambition of the port is to become the hub of by-products exchanges across a nation.

4.3. *Validation of P-IE patterns*

The cross-case analysis led to the identification of 9 patterns for the contribution of P-IE to the implementation of IE in port-city areas. These patterns are tightly linked to the sample of case studies selected for this analysis. The validity of these results must be assessed in terms of their capacity to provide a relevant framework for the analysis of new case studies (Morse, 2004).

Kalundborg (Denmark) is considered as the paradigmatic model for IE. Being very well documented in IE literature (Ehrenfeld and Gertler, 1997; Coté and Cohen-Rosenthal, 1998; Ehrenfeld and Chertow, 2002; Jacobsen, 2006), it has not been included in the sample of case studies in this research project. However, the validation process gives an occasion to check the relevance of the P-IE initiatives typology with this

exemplary case study. Kalundborg industrial symbiosis complex is located in a geographic area combining a port infrastructure with an oil terminal, an urban area and a complex web of symbiotic interactions among collocated companies including a power plant, an oil refinery, a pharmaceutical company, a producer of plasterboard and a soil remediation company (Jacobsen, 2006). The spatial influence of the Kalundborg industrial symbiosis complex covers the port-based industrial zone but also spreads into the municipality of Kalundborg and toward farming land and companies located over a wider region (Domenech and Davies, 2011). It is described as an evolutionary process in which a number of independent by-product exchanges have gradually evolved in an industrial symbiosis complex (Jacobsen, 2006). As a result, Kalundborg can be representative of a port-city approach (pattern 5), characterized by a progressive optimization of the circulation of flows through the development by-product exchanges within an industrial symbiosis network at a local scale.

The Kwinana industrial area, in Western Australia, has also not been included in the sample of analysis. However, this new case study fits with the scope of this research focus. Indeed, the Kwinana industrial area is a geographic area that integrates a port infrastructure including oil and grain loading terminals and a concentration of heavy industries ranging from manufacturing and construction facilities through to high technology chemical plants and large resource processing industries, such as titanium dioxide pigment production and alumina, nickel and oil refineries. It is located 40km south to the urban area of Perth (van Beers and Biswas, 2008). In 2007, 47 regional synergies had been inventoried in the Kwinana industrial area, 32 of these were qualified as by-product synergies and 15 involved shared use of utility infrastructure (van Beers, 2007). These P-IE synergies involved P-IE stakeholders such as an industrial gas producer and supplier, a cogeneration plant, a refinery, etc. Since 1991, the core industries have been organized in the Kwinana Industries Council which seeks to foster positive interactions between member industries, government and the boarder community (van Beers and Biswas, 2008).

The energy recovery initiative carried out in the Kwinana industrial area enables the identification of collaborative opportunities between industries located within different clusters in close proximity (van Beers and Biswas, 2008). The spatial influence of this initiative is thus concentrated within the port-based industrial area. These set of on-site and collaborative recovery opportunities are now subjected to technical, economic and environmental assessments and follow-up work will be required to achieve their implementation (van Beers and Biswas, 2008). The time schedule of this P-IE initiative corresponds to technical planning within a continuous improvement process. As a result, Kwinana's energy recovery initiative stands for a port-based industrial complex approach (pattern 2), which aims at providing solution for industrial processes to maximize environmental and economic gains related to energy recovery.

Another P-IE initiative targets the development of large scale reuses of inorganic by-product. The inorganic by-products available in Kwinana could be used to supply the growing demand for already scarce building and construction materials in Western Australia. Opportunities have been studied in order to find opportunities in cement manufacturing, agricultural applications and soil amendments, at a regional scale. This collaborative approach in Kwinana with industry, government, Kwinana the Industries Council, and the community is ongoing and working towards achieving a sustainable solution for the large volume of inorganic by-products and avoiding the mining of "virgin" building materials (Van Beers *et al.*, 2009). This P-IE initiative represents an eco-region initiative (pattern 6), which targets a better functional organization of inorganic by-product circulation and reuse at a regional scale.

5. Discussions

5.1. Co-existence of P-IE patterns

The cases provide the identification of 9 patterns of P-IE initiatives, defining the role and the value of port in the implementation and development of IE in port-city areas. These patterns are not exclusive; they constitute stages in a continuum of P-IE definitions. They can co-exist within a same port-city area. For instance, in Osaka (Japan), the complex approach developed by Osaka Gas Co. on the LNG terminal co-exists with the eco-region approach structured by the Osaka Bay Phoenix project. In Terneuzen (The Netherlands), by-product exchanges between firms are concomitant with the development of a network approach in the Ghent-Terneuzen canal zone: the complex approach embodied in the Terneuzen Biopark is applied together with the eco-cluster approach developed by the Hidden Connection project. In these contexts, the issue may be the relevance and conditions for a better articulation of these different patterns co-existing in the same port-city area.

5.2. Conditions of emergence of these different patterns

The port's role in the implementation of IE can also evolve, and patterns of P-IE initiatives can follow one another in time, designing a P-IE trajectory. For instance, in France, the P-IE initiative in Marseille-Fos has evolved from the implementation of collaboration between neighboring firms within port-based industrial plots (pattern 1) in the 1970s, to the development of a P-IE complex strategy (pattern 2) in the early 2000s. Nowadays, the development of a new metropolitan area aims for the extension of P-IE boundaries toward the development of synergies within the port-city interface (pattern 5).

It questions the conditions of emergence of these different patterns: why and how is the role of the port for IE implementation defined and why and how does it evolve over time? This article argues that ports play an active role in IE implementation in port-city areas. However, the local context could also influence the port's involvement and intervention in the local IE implementation. The within-case analysis reveals that a common representation of environmental issues (resource scarcity, land availability, pollution, etc.) often justifies and legitimates the implementation of P-IE initiatives: in New York / New Jersey, the P-IE initiative provides an answer to water pollution; in Jorf Lasfar, industrial symbiosis aims at reducing industrial pressure on water resources. It also highlights the necessity of a progressive involvement of different P-IE stakeholders: in the port of Rotterdam, industrial initiatives, coordinated with research implication, progressively associated the Port authority and the City of Rotterdam to the P-IE initiatives. The Chinese National Pilot Eco-Industrial Park Program challenges the implication of industrial stakeholders to develop industrial symbiosis in the port-city of Ningbo. These results echo research works carried out on the social embeddedness of industrial ecology (Boons and Howard-Grenville, 2009). These works highlight the fact that material and energy flows exchanges are tightly embedded in local social networks (Ashton, 2008). This local network is based on 1/ a *structural dimension* drawing the morphology of the network; 2/ a *cultural and political dimension* defining the way stakeholders are organized and the way they behave and 3/ a *cognitive dimension* constituting the system of meaning (Ashton and Bain, 2012). For instance, the cases could provide insights into how a top-down approach regulated by government planning or a bottom-up approach regulated by market laws could condition the emergence of specific patterns. They could also highlight the impact of the organization of P-IE stakeholders on the evolution of P-IE toward one pattern or another. Cultural and geographic trends could also be pointed out.

These P-IE patterns are defined on the basis of P-IE stakeholders' current understanding and representation of the main objectives of the P-IE initiatives. IE being in constant evolution, through innovation and invention of new practices in terms of by-product exchanges and utility sharing, P-IE patterns also need to evolve, following this continuous improvement process of P-IE trajectory.

5.3. P-IE initiatives and proximity for industrial symbiosis

Finally, P-IE initiatives, and especially port network approaches of IE (patterns 7, 8 and 9) question the notion of proximity in IE. For Chertow (2000), the key to industrial symbiosis are collaboration and the synergistic possibilities offered by geographic proximity. Beurain and Brulot (2011) highlight the benefits of the scientific proximity field on industrial ecology analysis: industrial symbiosis presuppose geographic, institutional and organizational proximity among stakeholders. For P-IE initiatives, geographic proximity should no longer be evaluated in terms of Euclidian distance; the kilometric metric does not constitute a key factor for the development of industrial port symbiosis. The notion of proximity must be adapted to P-IE initiatives, by considering the degree of natural, logistical and infrastructural connectivity between ports and port-cities. Indeed, by-product exchanges and utility sharing occur, within a broader scale, between distant port-related activities or port-cities infrastructures, connected by natural or artificial networks. For instance, a P-IE initiative is currently developed on the Ghent-Terneuzen canal zone. In France, the challenge for the ports of Le Havre, Rouen and Paris is to develop industrial ecology across the Seine axis, developing synergies between large group facilities in several port-based industrial areas, between companies of the same sector (projects are carried out on the construction sector) and between stakeholders in different sectors.

6. Conclusion

This paper sought to provide an overview of P-IE initiatives at an international scale and ports' contribution to the planning and development of IE in port-cities areas. It aims at highlighting to what extent and in what ways P-IE initiatives deliberately or spontaneously influence local IE implementations. A cross-case analysis has been carried out following a 3 step methodology: 1/ definition of the research boundaries; 2/ qualitative data collection thanks to interviews and literature review; 3/ data analysis in order to build a typology of P-IE contributions to the implementation of IE in port-city areas. Our research revealed that new visions and practices, echoing to IE principles, are emerging in ports worldwide, ranging from pragmatic synergies between firms developing pooling of utilities and facilities, to the integration of IE within port strategic policy and prospective. 18 ports, in Northern America, Asia, Africa and Northern Europe, were involved in the construction and validation of our proposals.

The cross-case analysis highlighted that the role of P-IE initiatives in the local implementation of IE can be characterized through its temporal and spatial influence. The temporal influence has been identified at different prospective levels: 1/ as a short-term reaction to a declared urgent situation, 2/ as a medium-term strategy precaution in response to forecast changes or 3/ as long-term ambitions in order to provoke required changes. The spatial influence defined different perimeter of influence of P-IE initiatives on the local implementation of IE: 1/ the port area, 2/ the port city and port region, 3/ and the port network (connected at a national or international scale). Linking the spatial and temporal dimensions allowed the identification of 9 patterns of P-IE contribution to the implementation of IE in port-city areas, from a port-based industrial plots approach (pattern 1) to an eco-cluster approach (pattern 9) aiming at a functional specialization of the port-based industrial activity thanks to infrastructures interconnecting ports. The validity of these patterns has been assessed by their capacity to provide a relevant framework for the analysis of Kalundborg (Denmark) and Kwinana (Western Australia), two case studies that were not included in the analysis's sample.

As a general conclusion, our research reveals that ports can greatly contribute to shaping IE development by fostering the implementation of industrial symbiosis. As area of testing and implementation of industrial symbiosis, ports can constitute self-sufficient exemplary area, likely to boost the development of other local eco-parks; as drivers of local economic development, ports act as levers for the

implementation of sustainable policies on a regional scale; as nodes in a global port network, ports can develop inter-port by-product exchanges and utility sharing.

References

- 3R Fish White Book, 2011. New opportunities for fishing and port-generated waste. Available at: http://www.3rfish.org/docs/3RFISH_WhiteBook.pdf (accessed 25.04.2013)
- Abriak, N.E., Junqua, G., Dubois, V., Gregoire, P., Mac Farlane, F., Damidot, D., 2006. Methodology of management of dredging operations I. Conceptual developments. *Env. Tech.* 27(4), 411-429.
- Ackoff, R., 1973. *Méthodes de planification dans l'entreprise*. Les Editions d'Organisation, Paris, France.
- Argawal, A., Strachan, P., 2006. Literature review on eco-industrial development initiatives around the world and methods employed to evaluate their performance and effectiveness. The Robert Gordon University, USA.
- Ashton, W.S., Bain, A.C., 2012. Assessing the 'short mental distance' in eco-industrial networks. *J. Indu. Ecol.* 16 (7), 70-82.
- Ashton, W.S., 2008. Understanding the organization of industrial ecosystems: a social network approach. *J. Indu. Ecol.* 12 (2), 34-51.
- Baas, L., 2000. Developing an industrial ecosystem in Rotterdam: Learning by... what?. *J. Indu. Ecol.* 4 (2), 4-6.
- Baas, L., Boons F., 2007. The introduction and dissemination of the industrial symbiosis projects in the Rotterdam Harbour and Industry Complex. *Environ. Technol. Manag.* 7 (5-6), 551-577.
- Baas, L.W., Huisingsh, D., 2008. The Synergistic Role of Embeddedness and Capabilities in Industrial Symbiosis: Illustration Based Upon 12 Years of Experiences in the Rotterdam Harbour and Industry Complex. *Prog. Ind. Ecol.* 5 (6), 399-421.
- Beaurain, C., Brullot, S., 2011. L'écologie industrielle comme processus de développement territoriale: une lecture par la proximité. *Rev. Econ. Reg. Urbaine.* 2, 313-340.
- Beilun District, 2012. Ten major projects of industrial ecology (Unpublished work translated from Chinese by Liming Lin).
- Bird, J., 1983. Gateways: Slow Recognition but Irresistible Rise. *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie* 74 (3), 196-202.
- Boehme, S. E., Panero, M.A., Munoz, G.R., Powers, C.W, Valle, S.N., 2009. Collaborative problem solving using an industrial ecology approach. The New York/New Jersey Harbor economy-wide substance flow case studies. *J. Ind. Ecol.* 13 (5), 811-829.
- Boons, F., Baas, L., 1997. Types of IE: the problem of coordination. *J. Cleaner Prod.* 5 (2), 79-86,
- Boons, F., Howard-Grenville, J., 2009. *The social embeddedness of industrial ecology*, Edward Elgar Publishing, Northampton, MA, USA.
- Bossilkov, A., Van Berkel, R., Corder, G., 2005. Regional synergies for sustainable resource processing: a status report. Curtin University of Technology, The University of Queensland. Available at: http://www.csrp.com.au/media/downloads/Bossilkov_etal_3A1_StatusReport_Jun05.pdf (accessed 25.04.2013)
- Brooks, M. R., Cullinane, K. 2006. Chapter 18. Governance models defined. *Research transportation economics*, 17, 405-435
- Brullot, S., 2009. *Mise en œuvre de projets territoriaux d'écologie industrielle en France: vers un outil méthodologique d'aide à la décision* (Ph.D. thesis). Université de Technologie de Troyes, Troyes, France.
- Cameron, R., 2010. Green Port Long Beach, Green Port Policy Update. Available at: <http://www.portcompliance.org/pdfs/Port%20of%20Long%20Beach.pdf> (accessed 25.04.2013)
- Carbone, V., De Martino, M., 2003. The changing role of ports in supply-chain management: an empirical analysis, *Mar. Pol. Manag.*, 30 (4), 305-320.
- Cerceau, J., Junqua, G., Gonzalez, C., Laforest, V., Lopez-Ferber, M., 2014. Quel territoire pour quelle écologie industrielle ? Contributions à la définition du territoire en écologie industrielle. *Dev. durable et territoires*, 5 (1).
- Charmondusit, K., Rungraunsri, P., Tappatat, K., 2007. Current activities toward to eco-industrial estate of Map Ta Phut industrial estate, Thailand. ISIE Conference, Toronto, Canada, June 17-20, 2007.
- Chertow, M. R., 2000. Industrial symbiosis. Literature and taxonomy. *Annual review of Energy and Environment* 25, 313-337 .

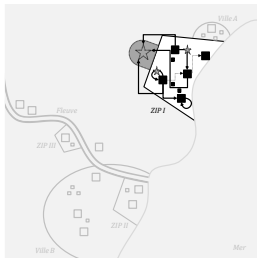
- Chertow, M.R., Ashton, W.S., Espinosa, J.C., 2008. Industrial symbiosis in Puerto Rico: Environmentally Related Agglomeration Economies. *Regional Studies*, 42 (10), 1299-1312.
- Cohen-Rosenthal, E., 2000. A Walk on the Human Side of Industrial Ecology. *Am. Behav. Sci.* 44 (2), 245–264.
- Collerette, P., 2004. Méthode des études de cas. In : A. Mucchielli, Dictionnaire des méthodes qualitatives en sciences humaines, second ed, Armand Colin, Paris, France.. 92-94.
- Côté, R., Cohen-Rosenthal, E., 1998. Designing eco-industrial parks: A synthesis of some experiences. *J. Cleaner Prod.*, 6 (3–4), 181–188.
- Darbra, R.M., Ronza, A., Casal, J., Stojanovic, T.A., Wooldridge, C., 2004. The self diagnosis method: a new methodology to assess environmental management in sea ports. *Mar. Pol. Bulletin*, 48, 420-428.
- De Langen, P.W., 2006. Chapter 20 – Stakeholders, conflicting interests and governance in port clusters. *Research in Transportation Economics*, 17, 457-477.
- Delhove, F., 2012. Le CO2, dans l’air ou sous terre ? Policy, 44. Available at : <http://fr.scribd.com/doc/92225664/Carbon-Capture-and-Storage-le-CO2-dans-l-air-ou-sous-terre> (accessed 25.04.2013)
- Domenech, T., Davies, M., 2011. Structure and morphology of industrial symbiosis networks: the case of Kalundborg. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 10, 79-89.
- Donsimoni, M., 2012. RSE, culture d’entreprise et développement territoriale : analyse monographique d’une entreprise publique marocaine. Available at : On line at: <http://www.pacte-grenoble.fr/wp-content/uploads/R%C3%A9sum%C3%A9-pr%C3%A9sentation-MD.pdf> (accessed 17.11.2013=
- Ducruet, C., 2004. The trans-scalar development of transportation hubs: a quantitative comparison of European and East Asian Container Port cities in the 1990s. *Inha University Bulletin*, 18 (2), 171 - 199.
- Ducruet, C., 2008. Typologie mondiale des relations ville-port, *Cybergeo*, 417. Available at: <http://cybergeo.revues.org/17332> (accessed 22.11.2013)
- Ducruet, C., Itoh, H., Joly, O., 2013. Port-region linkages in a global perspectives. In : MoLos Conference, Le Havre, France, 2013.
- Duret, B., 2007. Premiers retours d’expériences en écologie industrielle : études de cas en Europe et en Amérique du Nord. *Cahiers de la chaire d’écologie industrielle. Université de Technologie de Troyes. Troyes.*
- Ecologie Industrielle Estuaire, 2013. Détection de symbioses industrielles. Available at : http://www.ecologieindustrielleestuaire.fr/?page_id=66 (accessed 25.04.2013)
- Ehrenfeld, J., Chertow, M., 2002. Industrial symbiosis: The legacy of Kalundborg. In: R. Ayres, A handbook of industrial ecology, Edward Elgar, Northampton, USA.
- Ehrenfeld, J., Gertler, N., 1997. Industrial ecology in practice: The evolution of interdependence at Kalundborg. *J. Ind. Ecol.* 1(1), 67–79.
- Eisenhardt, K., 1989. Building theories from case study research. *Acad. Manage. Rev.* 14 (4), 532–550.
- European Sea Ports Organisation, 2013. ESPO Port Performance Dashboard. Available at: http://www.espo.be/images/stories/Publications/studies_reports_surveys/espo_dashboard_2013%20final.pdf (accessed 01.12.2013)
- Erkman, S., 2004. Vers une écologie industrielle, second ed. Ed. Charles Léopold Mayer, Paris, France.
- Fleig, A. K., 2000. Eco-industrial parks, a strategy towards industrial ecology in developing and newly industrialized countries, *Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit.*
- Fremault, C., Présentation du projet IRISPHERE: la Région de Bruxelles Capitale innove en écologie industrielle. Available at: <http://www.fremault.irisnet.be/actualites/20-04-2012-presentation-du-projet-irisphere-la-region-de-bruxelles-capitale-innovent-en-ecologie-industrielle> (accessed 07.07.2013)
- Fujita, T., 2006. Ecotown projects. Environmental industries in progress. Available at: http://www.meti.go.jp/policy/recycle/main/3r_policy/policy/pdf/ecotown/ecotown_casebook/english.pdf (accessed 25.04.2013)
- Fujita, T., 2011. Eco-towns as Policy system for sustainable cities and industries, presentation for Kawasaki Eco-town development. NIES. Tsukuba, Japan, June 4th.
- Fujiwara, Y., et al. 2011. LNG Cold Energy supply for CO2 reduction and energy conservation in Mitsui Chemicals Ethylene Plant In: International Gas Union Research conference, 2011.
- Genet, P., Lamouri, S., Thomas, A., 2005. La planification industrielle et ses limites. *Techniques de l’ingénieur. AG*, 5 (115).
- Gibbs, D., Deutz, P., 2007. Reflections on implementing industrial ecology through eco-industrial park development. *J. Clean. Prod.* 15 (17), 1683-1695.
- Godet, M., 2004. La boîte à outils de la prospective stratégique, fifth ed. *Cahiers du Lipsor*. 5.

- Hayuth, Y., 1989. Editor's introduction: the dynamics and dimensions of port-city interrelationships. *Geoforum*, 20 (4), 427.
- Hoyle, B.S., 1989. The port-city interface: trends, problems and examples. *Geoforum*, 20 (4), 429-435.
- Higushi, T., 2004. Osaka Bay Phoenix Project as an integrated waste management scheme. *International Navigation Association Bulletin*, 116, 59-64.
- Jacobsen, N., B., 2006. Industrial symbiosis in Kalundborg, Denmark: A quantitative assessment of economic and environmental aspects. *J. Ind. Ecol.* 10 (1-2), 239-255.
- Junqua, G., Abriak, N.E., Gregoire, P., Dubois, V., Mac Farlane, F., Damidot, D., 2006. Methodology of management of dredging operations II. Applications. *Env. Tech.* 27(4), 431-446.
- Junqua, G., Moine, H., 2007. Utilisation de l'écologie industrielle et de l'intelligence économique territoriale pour le développement durable d'une Zone Industriale-Portuaire. *Déchets Sciences et Techniques*. 46, 19-23.
- Junqua G., Moine H., Bouzidi Y., 2006. Développement durable d'une zone industriale-portuaire : utilisation de l'écologie industrielle et de l'intelligence économique et territoriale, Colloque européen EMUE, Paris, May 18-19, 2006.
- Junqua G., Moine H., Bouzidi Y., Abriak N.E., Damidot D., 2005. L'écologie industrielle, outil de l'intelligence économique et territoriale. Conférence Internationale d'Ingénierie Urbaine – Technologies innovantes pour les infrastructures et l'habitat, Lille, October, 12-13, 2005, 385-393.
- Lee, S.W., Dong-Woo, S., Ducruet, C., 2008. A tale of Asia's world ports: the spatial evolution in global hub port cities. *Geoforum*. 39, 372-385.
- Lombardi, D.R, Lyons, D., Shi, H., Argawal, A., 2012. Industrial symbiosis, testing the boundaries and advancing knowledge. *J. Ind. Ecol.* 16 (1), 2-7.
- Maki, Y., 2009. Kawasaki Eco-Town. Asia 3R Forum, November 11, 2009. Available at: http://www.uncrd.or.jp/env/spc/docs/1st_3r_forum_presentation/Session2-2g2_Maki.pdf (accessed 25.04.2013).
- Mat, N., Cerceau J., 2011. L'écologie industrielle et territoriale, catalyseur d'avenir pour les territoires portuaires. *Vecteur Environnement*. 44(5), 12-14.
- Mat, N. Cerceau, J. Junqua, G., Duret, B., Margaine, F., Bahers, J-B., Julien Saint Amand, F., 2012. DEPART, De la gestion des déchets à l'économie circulaire, étude de l'émergence de nouvelles dynamiques partenariales: Cas pratiques et perspectives dans les territoires portuaires. ADEME. Final report. Paris.
- Meneghetti, A., Nardin, G. 2012. Enabling industrial symbiosis by a facilitating management optimization. *J. Cleaner Prod.* 35, 263-273.
- Merk, O., Ducruet, C., Dubarle, P., Haezendonck, E., Dooms, M., 2011. The competitiveness of global port-cities: the case of the Seine axis (Le Havre, Rouen, Paris, Caen) – France. OECD Regional development working papers, OCDE Publishing,
- Merk, O., 2011. The competitiveness of global port-cities: synthesis report. OECD Regional development working papers, OCDE Publishing,
- Miles, M.B., Huberman, A.M., 2003. *Qualitative Data Analysis; an expanded sourcebook*. Second ed. SAGE Publications, London, UK.
- Miola, A., Paccagnan, V., Mannino, I., Massarutto, A., Perujo, A., Turvani, M., 2009. External costs of transport case study: maritime transport. JRC scientific and technical reports, European communities.
- Morse, J.N., 2004. Theoretical saturation. In: Lewis-Beck, M.S., Bryan, A., Futing Liao T., *Encyclopedia of social science research methods*. Sage Publications.
- Mucchielli, A., 2004. *Dictionnaire des méthodes qualitatives en sciences humaines*. Second ed. Armand Colin, Paris, France.
- Otsuka, T., 2006. Evolution of an LNG Terminal: Senboku Terminal of Osaka Gas. Proceedings. 23rd World Conference, Amsterdam. Available at: <http://www.igu.org/html/wgc2006/pdf/paper/add11362.pdf> (accessed 25.04.2013)
- Paillé, P., 2004. Echantillonnage théorique. In : Mucchielli, A., 2004. *Dictionnaire des méthodes qualitatives en sciences humaines*. Second ed. Armand Colin, Paris, France.
- Park H-S., Won J-Y., 2007. Ulsan Eco-industrial Park, Challenges and Opportunities. *J. Ind. Ecol.* 11 (3), 11-13.
- Port of Long Beach, 2011. Marina del Rey Maintenance Dredging project. Presentation to Major General William T. Grisoli, Deputy Commanding General for Civil and Emergency Operations, United States Army Corps of Engineers. Available at: http://file.lacounty.gov/dbh/docs/cms1_156730.pdf (accessed 25.04.2013)

- Raimbault, N., Douet, M., Frémont, A., 2010. Les plateformes logistiques : entre fluidité et fixité. Report of the Programme de recherche FLUIDE, Agence Nationale de la Recherche, INRETS, ERA FRET. Ports and Harbours Bureau. Recycle Ports. Available at: http://www.mlit.go.jp/english/2006/k_port_and_harbors_bureau/14_recyclports/index.html. (accessed 04.04.2013)
- Port of Rotterdam, 2013. Port of Rotterdam website. Available at: <http://www.portofrotterdam.com/en/Business/containers/Containerspecial/Documents/brochure/port-vision-2030.html> (accessed 06.06.2013)
- Rod, S.R., Ayres R.U., Small, M., 1989. Reconstruction of historical loadings of heavy metals and chlorinated compounds in the Verta Hudson-Raritan basin, 1880-1980. Report to Hudson River Foundation. Grant No. 001-86A-3.
- Rodrigues, J., 2012. Etude des potentialités de valorisation des calories et frigories de la ZIP de Fos-Lavéra. Rapport de projet de fin d'études, Ecole des Mines d'Alès, France.
- Royston, K., 2009. Sustainable resource management, GreenPort website. Available at: <http://www.greenport.com/news101/vessel-build-and-maintenance/initiatives/sustainable-resource-management> (accessed 25.04.2013)
- Serfati, A., 2012. Plateforme multimodale de traitement et de valorisation des emballages perdus et films agricoles (Unpublished work)
- Shi, H., Jinping, T., Chen, L., 2012. China's quest for Eco-industrial parks, Part I. History and Distinctiveness. *J. Indu. Ecol.* 16 (1), 8-10.
- Shi, L., Qian, Y., 2004. Strategy and mechanism study for promotion of circular economy in china, *Chinese Journal of Population Resources and Environment.* 2 (1), 5-8.
- Stern, E. 2009. Innovative approaches to the management and remediation of contaminated sediments and their application to integrated sustainable systems, Ecomondo Conference, Rimini, Italy, October 30, 2009.
- Stern, E.A., Jones, K.W., Douglass, W.S., Kruge, M.A., Feng, H.E. Baron, L.A., 2009. Sustainable Urban and Environmental Management Restoration Applications Using Sediment Treatment Systems with Beneficial Use. 5th International SedNet Conference, May 28th.
- Turner, K. R., Subak, S., Adger, N., 1996. Pressures, trends and impacts in coastal zones: interaction between socio-economic and natural systems. *Environ. Manage.* 20, 159-173.
- Turner, K.R. 2000. Integrating natural and socio-economic science in coastal management. *J. Mar. Systems.* 25, 447-460.
- Vallega, A., 2001. Urban waterfront facing integrated coastal management. *Ocean Coast. Manag.* 44, 379-410.
- van Beers, D., 2007. Capturing regional synergies in the Kwinana Industrial area. Status report, Centre for sustainable resource processing. Available at: file:///C:/Users/Juliette/Downloads/2007_Status_Report_-_CSRP_Kwinana_Synergies_Project.pdf (accessed 27.02.2014)
- van Beers, D., Biswas, W.K. 2008. A regional synergy approach to energy recovery: the case of the Kwinana industrial area, Western Australia. *Energy conversion and management*, 49 (11), 3051-3062.
- van Beers, D., Bossilkov, A., Lund, C., 2009. Development of large scale reuses of inorganic by-products in Australia: the case study of Kwinana, Western Australia. *Resources, conservation and recycling*, 53 (7), 356-378.
- van Klink, H.A., 1994. Strategic partnering among logistic nodes: Rotterdam and Eastern Europe *J. of Transport Geo*, 2 (3), 169-177.
- van Klink, H.A., 1998. The port network as a new stage in port development: the case of Rotterdam. *Environment&Planning A.* 30 (1), 143-160.
- Wang M-F., Ming Y-M., Hu P. and Lu S., 2008. Framework of Eco-industrial Park Development Based on Circular Economy: a case study of Ningbo Chemical Industry Zone. *Sci. Geographica Sin.* 28 (5), 624-630.
- Yin, R.K., 1984. Case study research; Design and methods, Ed. Sage, London.
- Zhang, L., Zengwei, Y., Bi, J., Zhang, B., Liu, B., 2010. Eco-industrial parks: national pilot practices in China. *J. Cleaner Prod.* 18, 504-509.
- Zeeland Seaports, 2011 (a). Biopark Terneuzen. Available at: <http://www.bioparkterneuzen.com/en/biopark.htm> (accessed 25.04.2013)
- Zeeland Seaports, 2011 (b). Multi-utility providing. Available at: <http://www.zeelandseaports.com/en/projects/video-multy-utility-providing.htm> (accessed 25.04.2013)

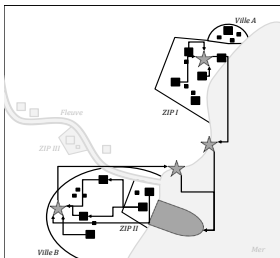
1.3. Discussions du chapitre 1 : vers des approches territoriales et décloisonnées de gestion des ressources

Le périmètre d'analyse et d'action en écologie industrielle s'inscrit à de multiples échelles : à l'échelle d'un parc éco-industriel, d'une ville, d'une région, d'une île, d'un fleuve ou encore à l'échelle d'un bassin versant (Mat *et al.*, 2014). A l'instar des chorèmes et cartes-modèles développés par Brunet (1980, 1986), des descripteurs de forme d'agencements et de configurations des systèmes agraires (Landais, 1996), des dynamiques de symbioses régionales et inter-entreprises décrits par Liu *et al.* (2015), des temps urbano-portuaires (Beyer et Debrie, 2011), des modèles spatiaux et fonctionnels caractérisant la relation port-ville décrits par Ducruet (2008) et Ducruet *et al.* (2013), l'analyse croisée des cas d'études internationaux nous a permis de distinguer trois grandes modèles (Figure 11) en termes de configuration spatiale de ces initiatives de meilleure gestion des ressources appliquées aux espaces portuaires : l'éco-site, l'éco-territoire et l'éco-réseau.



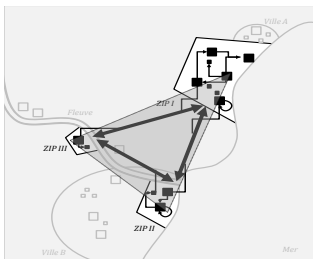
L'Eco-site

- Un complexe unifié, intégré et optimisé par la mise en œuvre de synergies ou par la mutualisation d'équipement, sur une partie du périmètre administratif de la zone industrialo-portuaire (terminal méthanier par exemple), ou bien sur la zone administrative portuaire dans son intégralité
- Un aménagement dessiné afin de faciliter la mise en œuvre de synergies, où les activités socioéconomiques et les infrastructures sont choisies pour apporter des réponses à la faisabilité technique de la symbiose industrielle (par exemple, la valorisation thermique de la chaleur issue de l'incinération de déchets dangereux)



L'Eco-territoire

- Un vaste espace géographique, pouvant aller de la ville portuaire à la baie, en vue de mettre en œuvre l'écologie industrielle à l'interface entre les fonctions industrialo-portuaires, urbaines ou agricoles de ce milieu
- Un développement d'innovations technologiques en vue d'optimiser la circulation des flux et l'utilisation des infrastructures à l'interface port-territoire et ainsi assier la compétitivité et la pérennité des activités industrielles
- Une meilleure organisation fonctionnelle de la gestion des flux et de l'aménagement des infrastructures à l'échelle d'un éco-territoire



L'Eco-réseau

- Un espace portuaire, une région voire un pays, considéré comme une opportunité de formaliser un réseau inter-ports en créant une activité de centralisation et de valorisation de certains flux de sous-produits
- Une spécialisation fonctionnelle de l'activité industrialo-portuaire autour d'infrastructures permettant d'interconnecter les ports en matière de gestion des flux ou de services (exemple de la réparation navale qui s'appuie sur un ou différents sites et qui peut entraîner la structuration d'autres filières locales de recyclage/valorisation de matières)

Figure 11 – Principaux modèles en termes de configuration spatiale des initiatives d'écologie industrielle portuaire

Dans le cadre du processus de construction systémique du périmètre portuaire d'écologie industrielle, ces modèles peuvent être analysés au regard de notre problématique de recherche, et de l'hypothèse 1 en particulier¹, notamment autour des enjeux de décloisonnement des approches de gestion des ressources (approches par sous-systèmes, approches à l'interface entre sous-systèmes et approches territoriales) et de mise en interaction des fonctions du territoire. Ils nous permettent en particulier d'apporter et de discuter certains éléments de réflexion concernant les questions suivantes :

- La question des interactions entre les sous-systèmes composant le territoire portuaire : quelles mises en œuvre d'interactions fonctionnelles dans les initiatives portuaires d'écologie industrielle ?
- La question du périmètre de l'écologie industrielle dans les territoires portuaires qui nous amène à interpellier la notion de proximité en écologie industrielle : quels périmètres portuaires de l'écologie industrielle ?

1.3.1. Interactions fonctionnelles dans les initiatives portuaires d'écologie industrielle

- *Modèle « Eco-site », des interactions principalement entre industriels*

Mat *et al.* (2014) ont mis en évidence, dans le cadre d'un retour d'expériences menées à l'échelle internationale, qu'un grand nombre d'initiatives d'écologie industrielle et territoriale sont d'abord réfléchies et mises en œuvre à la seule échelle des Zones Industriales-Portuaires (ZIP). Ces initiatives donnent lieu à des interactions entre industries portuaires (chimie, pétrochimie, sidérurgie, cimenterie, etc.) au sein de chaque complexe industriel cloisonné (**interactions I-I**). Par exemple, le site industriel-portuaire de Béjaïa en Algérie opère des synergies éco-industrielles à la seule échelle de la ZIP (Labaronne *et al.*, 2014), principalement autour d'une entreprise « pivot » : Cevital. Cette dernière est impliquée dans des boucles éco-industrielles, tant en termes d'optimisation de la gestion des déchets (résidus de raffinage et d'opérations de conditionnement, acides et corps gras) que d'optimisation énergétique ou de gestion des eaux usées et d'énergie. A Osaka (Japon), des synergies de substitution par échanges de flux énergétiques (Figure 12) sont opérées entre Osaka Gas Company (opérateur d'un terminal méthanier) et des industries voisines, fortement consommatrices d'utilités énergétiques de qualité diverse (vapeur, froid, etc.).

¹ Telle que formulée dans l'introduction générale, l'hypothèse 1 stipule « qu'au-delà des seules optimisations par sous-système, il existe des approches territoriales qui ont pour objectif de construire une optimisation des ressources sur la base d'interactions entre les différents sous-systèmes au sein de l'espace portuaire. »

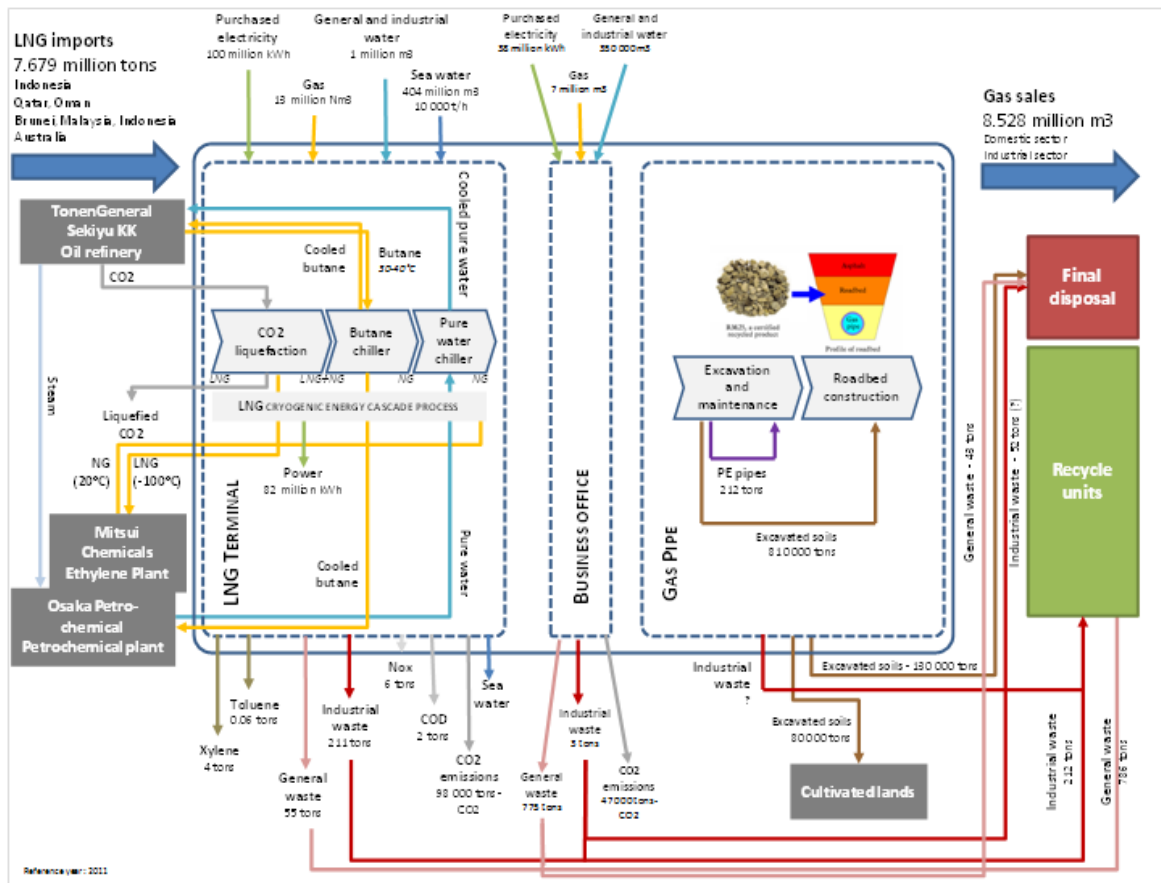


Figure 12 – Symbioses industrielles d’Osaka Gas Company (d’après Cerceau, 2012)

Selon les synergies, les infrastructures exigées sont plus ou moins complexes et de fait difficiles à financer. Sur l’aspect énergétique par exemple, certaines entraînent des temps de retour sur investissement très variables, allant de 3 à plus de 10 ans. Dès lors, les formes organisationnelles (gouvernance) diffèrent sensiblement selon les cas étudiés et les contextes culturels rencontrés. Les formes associatives ou partenariats B to B entre acteurs sont généralement privilégiées pour des synergies « simples » à mettre en œuvre (mutualisation de services, d’achats, etc.). Des formes plus complexes (GIE, Régies, sociétés d’économie mixte) sont nécessaires pour des synergies nécessitant des engagements de capital plus importants dont la rentabilité est plus longue (co-construction d’un équipement de traitement partagé, d’une infrastructure lourde telle qu’un réseau de chaleur, etc.). Dans le cadre de ces dynamiques, décrites par ce modèle, les autorités publiques sont plutôt en retrait.

- **Modèle « Eco-territoire », émergence d’interactions fonctionnelles entre industries portuaires, ville et agriculture**

Les symbioses industrielles recensées sur les territoires portuaires émergent de décisions portées par des acteurs privés (entreprises) ou publics (autorités portuaires, collectivités) amenés à échanger des flux dans une optique de réduction des coûts et/ou de recherche de débouchés. La structuration que nécessitent ces démarches tend à faire évoluer les relations port-territoire. Sur le terrain, des

initiatives menées à l'interface port-ville ou port-espace agricole illustrent cette tendance à décloisonner les approches d'écologie industrielle en tendant vers une plus grande variété des interactions fonctionnelles entre les différents sous-systèmes qui composent ces territoires. Certaines démarches présentent ainsi une diversité de synergies intéressante.

Plusieurs cas recensés et étudiés font en effet apparaître des synergies opérées entre les systèmes industrialo-portuaires et urbains (**interactions I-U**). En Europe, Kalundborg ou Rotterdam figurent parmi les exemples les plus étudiés (Côté et Cohen-Rosenthal, 1998; Ehrenfeld et Chertow, 2002; Jacobsen, 2006, Baas et Boons, 2004 ; Baas et Boons, 2007) et les plus emblématiques de cette typologie de relations Ville-Port, qui s'opèrent très souvent à travers la réalisation de réseaux de chaleur urbains alimentées par les excédents d'énergie des ZIP voisines. En France, le territoire dunkerquois a également développé, depuis 1986, un vaste réseau de chaleur (100 MW), qui permet de capter et valoriser les excédents thermiques des hauts fourneaux sidérurgiques d'Arcelor-Mittal. Ce réseau alimente en chaleur 16 000 équivalents logements (collectifs et bureaux).

Des illustrations concrètes de synergie entre la Ville et le Port sont également observées en Afrique du Nord. Par exemple, l'Office Chérifien des Phosphates (OCP) au Maroc développe une approche centrée sur le complexe industrialo-portuaire de Jorf Lasfar mais également une approche plus « territoriale » (Figure 13) si l'on prend en compte dans l'échelle d'analyse les sites d'extraction et de traitement primaire des minerais (Labaronne *et al.*, 2014). Une grande diversité de synergies sont développées (échanges de flux et d'utilités, mutualisation de services et de personnels, etc.) au profit de l'entreprise d'Etat, de ses partenaires commerciaux via des *joint-ventures* (logique de *Plug & Play* des installations sur le minéroduct) et des collectivités voisines des activités industrielles d'extraction et de transformation.

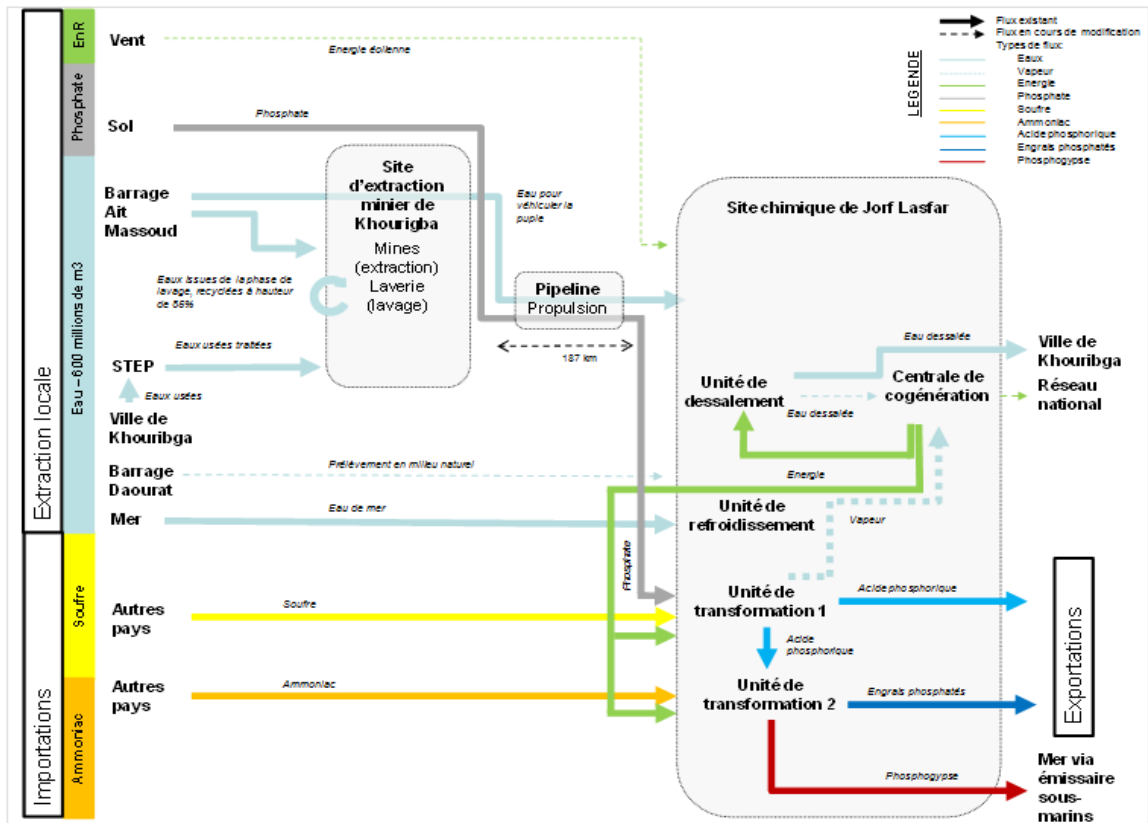


Figure 13 – Métabolisme de l’OCP sur le territoire industriel-portuaire de Jorf Lasfar (d’après Cerceau, 2012)

En outre, l’OCP a amélioré son process permettant un recyclage de 85% des eaux en circuit fermé et une diminution de la consommation totale en eau de 15 million de m³ par an. Au-delà de générer des gains économiques substantiels pour la filière industrielle de production d’engrais phosphatés, cet investissement bénéficie également aux collectivités voisines en diminuant l’impact de la production d’engrais et d’acide phosphorique de Jorf Lasfar sur la ressource en eau (conflit d’usages).

D’autres cas étudiés font apparaître des synergies opérées entre les systèmes industrialo-portuaires et agricoles situés à proximité (**interactions I-A**). Figuière et Métèreau (2012) soulignent à ce titre l’intérêt d’une plus grande intégration du système agricole en écologie industrielle. En Europe, un exemple aujourd’hui bien référencé est développé sur le domaine industrialo-portuaire de Zeeland aux Pays-Bas. Le Biopark de Terneuzen (Figure 14) a été développé à l’échelle d’un cluster, au sein duquel les entreprises ont spontanément développé des synergies éco-industrielles depuis 2007 (échanges d’utilités thermiques et de CO₂, d’eau, de biomasse, etc.).

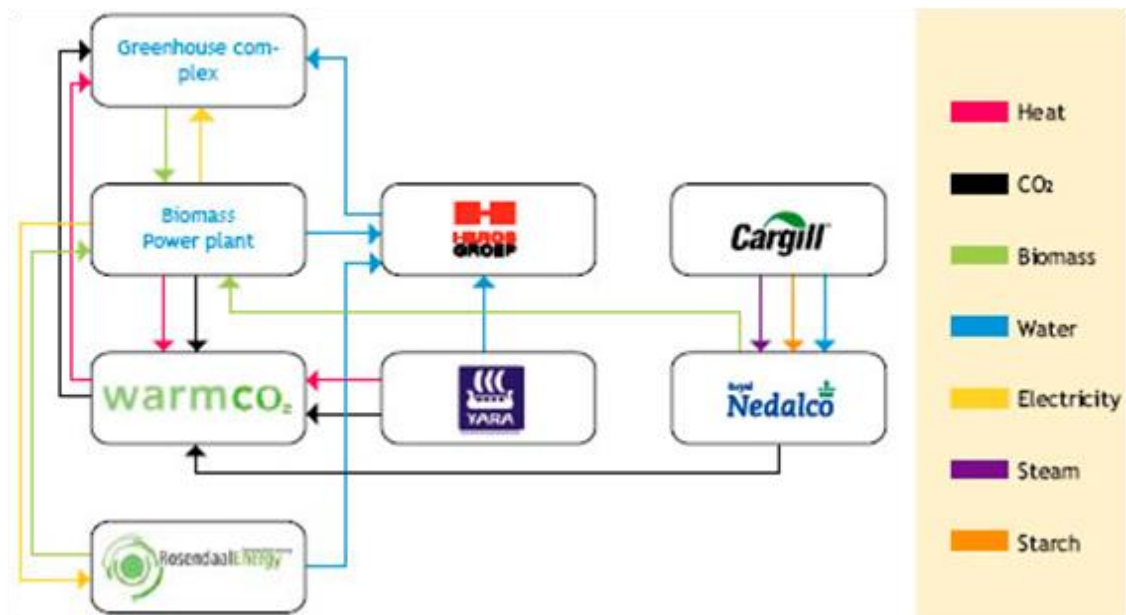


Figure 14 – Synergies du Biopark Terneuzen (source : <http://www.bioparkterneuzen.com>)

Parmi les synergies existantes, la *Warm CO₂ initiative* permet de récupérer des rejets de chaleur et de CO₂ des industries du site (Yara, Nedalco, etc.) afin d'alimenter des serres agricoles et horticoles implantées à proximité du complexe industriel chimique (Figure 3).

- *Modèle Eco-réseau, interactions industrielles entre espaces portuaires*

Au-delà de la dimension locale et de ces enjeux de décloisonnement sectoriel, ces nouveaux défis de coopération peuvent également se situer entre différents espaces portuaires (exemples de la zone Amsterdam-Rotterdam-Anvers ou Terneuzen-Ghent ou Shanghai-Yangshan) ou à l'échelle de bassins versants (exemples de la Vallée de la Chimie dans la Vallée du Rhône en France, de l'Alliance Verte le long du fleuve Saint-Laurent ou du territoire portuaire de New York/New Jersey). Ces exemples (**interactions IP-IP**) illustrent l'intérêt qu'il existe également de travailler à une échelle plus globale (territoriale), donc de fait plus complexe à appréhender mais offrant de nouvelles perspectives pour optimiser la gestion des ressources. Si le vœu d'interactions renouvelées entre sous-systèmes semblent louable et applicable (cf. initiatives sur Zeeland et Eco-Town décrites ci-dessus), on ne semble en revanche pas disposer à l'heure actuelle d'une véritable méthodologie ou d'un modèle de référence pour « rentrer et construire en interactions systématiques » au sein des espaces portuaires afin de tendre davantage vers des *systèmes territoriaux hybrides* de type « agro-urbain-industrialo-portuaire ».

Les territoires industrialo-portuaires semblent donc avoir la caractéristique de (pouvoir) faire co-exister des démarches rentrant à la fois dans le champ d'une écologie industrielle et territoriale et de l'économie circulaire, ce qui interpelle la notion de proximité dans ce cadre spécifique des territoires portuaires et la définition/différenciation entre économie circulaire et écologie industrielle.

1.3.2. Périmètre portuaire d'écologie industrielle, enjeux de proximité

Le principe selon lequel la proximité (géographique) est la condition clé de mise en œuvre des symbioses industrielles (Chertow, 2000) peut être requestionné dans le cadre du développement des symbioses industrialo-portuaires. Buclet (2011) énonce trois différentes formes de proximité à considérer dans le cadre de la mise en œuvre de l'écologie industrielle et territoriale : la proximité géographique, la proximité organisationnelle et la proximité institutionnelle (cognitive). Torre (2010) considère plutôt deux catégories de proximité : la proximité géographique, dont la définition est partagée avec celle évoquée précédemment par Buclet (2011), et la proximité organisée (capacité d'une organisation à faire interagir ses membres).

La notion de **proximité géographique**, soit la distance kilométrique entre deux entités (individus, organisations, villes...) pondérée par le coût temporel et monétaire de son franchissement (Torre, 2010) doit en effet être ici adaptée aux initiatives industrialo-portuaires, en considérant le degré de connectivité naturelle, logistique et infrastructurelle entre les ports et les villes portuaires, qui s'affranchit dès lors plus aisément, pour certains flux, de la notion de distance (proximité géographique ou euclidienne). Il n'en demeure pas moins que les échanges de flux thermiques (vapeur, frigories, etc.) restent tout de même largement conditionnés, ici comme ailleurs, aux critères techniques et économiques, qui introduisent de fait une distance limite entre l'émetteur (la source) et le récepteur (le débouché).

Or, tel que présenté précédemment, on constate dans ces territoires, à la lecture du retour d'expériences international, différentes typologies de synergies (Figure 15) :

- des micro-synergies intra-fonctionnelles et localisées (modèle type Eco-site), mises en œuvre au sein des différents sous-systèmes (échanges entre industries au sein de la ZIP par exemple)
- des meso-synergies inter-fonctionnelles et localisées (modèle type Eco-territoire), symbolisant les interactions et échanges de flux entre sous-systèmes au sein d'un même territoire portuaire (ex : revalorisation en agriculture du CO2 industriel sur Zeeland)
- des macro-synergies intra-fonctionnelles et globalisées (modèle type Eco-réseau), illustrées par des échanges de flux physiques (utilités, etc.) entre différentes places portuaires (ex : Ghent-Terneuzen ou Anvers-Rotterdam-Amsterdam), allant au-delà des échanges logistiques classiques opérés par voie fluviale ou maritime.

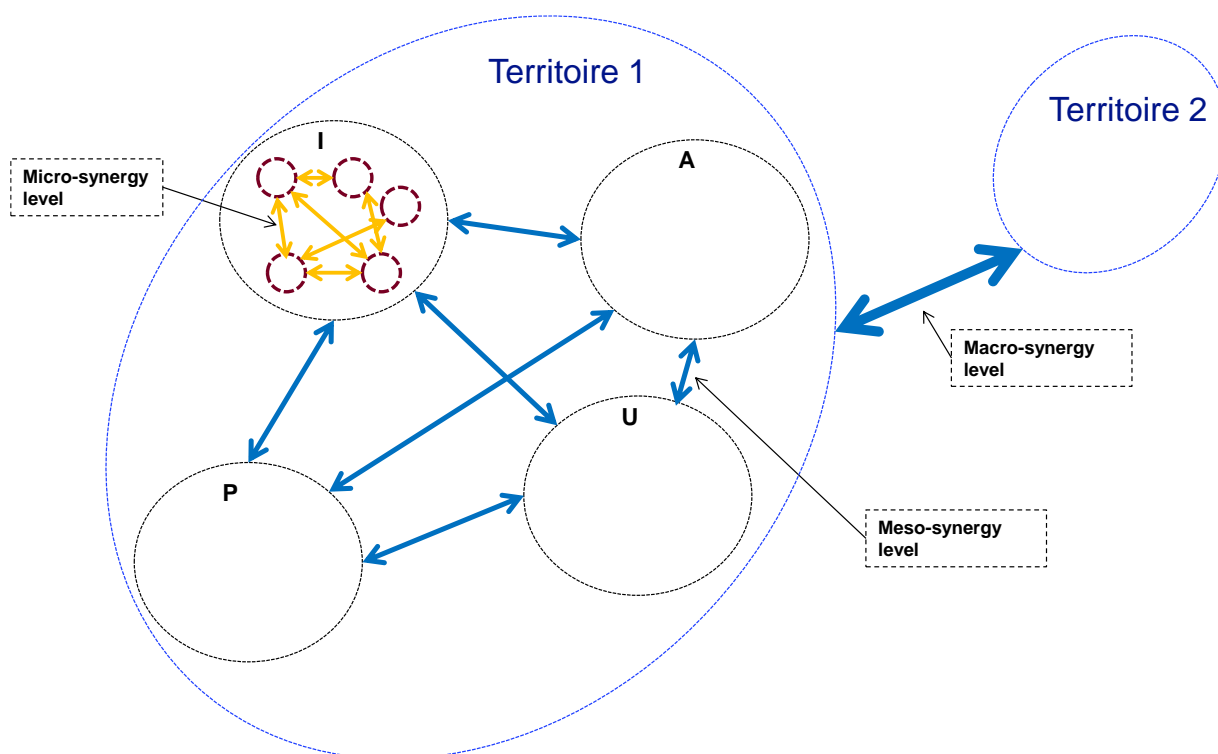


Figure 15 – Représentation simplifiée des différentes échelles de synergies

Le développement portuaire présente la singularité d'être en tension permanente entre deux extrêmes : un modèle de développement interconnecté à un « système-monde » globalisé et un modèle de développement imbriqué dans un « système-territoire » localisé. Il en résulte deux conceptions de la symbiose industrialo-portuaire :

- une s'intégrant plutôt dans le champ d'une économie circulaire qui fait du port le nœud stratégique de l'optimisation de la circulation des flux à une échelle macro-économique globale. Le territoire portuaire est ici au service d'une approche nationale de la gestion des ressources (qui réciproquement « instrumentalise » le territoire portuaire). On comprend ici l'importance des axes logistiques, les enjeux de réseaux, etc.
- une rentrant plutôt dans le champ de définition et d'application de l'écologie industrielle et territoriale, qui fait du port l'interface pour une meilleure gestion des ressources à une échelle micro ou méso économique (locale ou territoriale). Cette approche d'écologie industrielle, s'appuyant davantage sur une notion d'appartenance au territoire (*sense of place*) et sur une meilleure intégration fonctionnelle des sous-systèmes le composant (entre industriel, portuaire, urbain, agricole) se positionne au service du développement territorial et des enjeux qui y sont liés (problématique d'intégration port-ville, préservation des milieux naturels sensibles, gestion des conflits d'usages locaux, développement social et économique local, etc.).

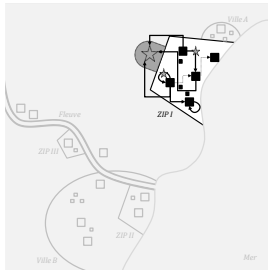
Cette double conception se matérialise à travers les points de vue divergents autour du bien-fondé et du développement de nouvelles filières. Par exemple, sur le sujet des bioraffineries, le débat perdure entre :

- des bioraffineries ancrées dans les ports s'appuyant sur une partie des infrastructures de raffinage pré-existantes et/ou en restructuration, qui font bénéficier, via l'implantation portuaire, de gisements de matières premières et de débouchés à une échelle internationale
- et des bioraffineries ancrées au sein des territoires agricoles dans l'hinterland producteurs des matières premières et dont la production serait prioritairement destinée au marché régional de consommation.

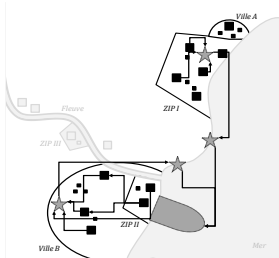
Au-delà de la proximité géographique, se pose donc également la question de la **proximité organisationnelle et institutionnelle (cognitive)** dans les territoires portuaires. Pour se concrétiser, on constate que les synergies résultent bien évidemment de conditions technico-économiques basées sur la proximité géographique (facteur limitant de la distance ou du coût du transport pour opérationnaliser la synergie) mais également de conditions de confiance établies entre acteurs locaux (ou d'une même organisation) qui souhaitent réellement coopérer. Ces relations de confiance entre acteurs peuvent s'établir à une échelle locale, les acteurs pouvant fréquenter des réseaux communs (club locaux d'entrepreneurs, réseaux animés par les chambres consulaires, etc.), appartenir à des organisations professionnelles défendant des intérêts communs (syndicats, plateformes d'innovation, etc.) ou bien être confrontés à des enjeux communs (gestion mutualisée de l'eau, de l'énergie, des milieux naturels, etc.). Parmi les synergies étudiées dans le cadre du retour d'expériences, nombreux sont les acteurs (autorités portuaires, entreprises, chercheurs, collectivités, etc.) parties prenantes de ces démarches collaboratives à avoir souligné l'importance de la relation humaine parmi les conditions ayant favorisé la recherche, l'étude puis la mise en œuvre de synergies, à une échelle locale mais également internationale (dans le cadre des macro-synergies). En effet, cette dimension de proximité cognitive (partage de valeurs et de repères conventionnels) peut tout à fait s'appliquer à l'échelle d'une organisation industrielle de grande ampleur qui, par leur culture d'implantation multinationale, s'affranchit plus aisément des contraintes de distance et peut dès lors engager des synergies à une échelle globalisée. Daudet et Alix (2012) considèrent que les territoires portuaires, en tension entre des enjeux locaux et globaux, sont au cœur des stratégies territoriales modernes car en dualité permanente entre pragmatisme opérationnel local et globalisation concurrentielle. Les cas étudiés dans le cadre du retour d'expériences international contribuent à questionner la notion de proximité organisationnelle, notamment à l'interface port-ville, où l'on voit des acteurs pouvant appartenir ou intervenir à la fois avec une responsabilité d'autorité portuaire ou d'industriel mais également de citoyen ou d'élu, confronté aux enjeux du développement local.

1.4. Conclusion du chapitre 1 et transition

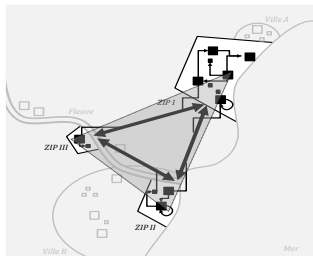
L'étude de ces initiatives multi-scalaires, à une échelle internationale, ont permis d'établir des modèles territoriaux.



Un modèle **Eco-site** basé sur des micro-synergies intra-fonctionnelles et localisées avec à l'origine de ce type de démarches, des accords bilatéraux entre entreprises, basés notamment sur une logique d'économie ou de gain financiers et sur de fortes interactions personnelles



Un modèle **Eco-territoire** basé sur des meso-synergies inter-fonctionnelles et localisées, dans lequel la volonté politique est structurante dans les investissements et dans l'organisation du territoire



Un modèle **Eco-réseau** basé sur des macro-synergies intra-fonctionnelles et globalisées, qui peut s'opérationnaliser via la volonté d'une maison mère sur ses filiales, ou via des accords entre entreprises multinationales.

Ce premier niveau d'analyse renvoie toutefois à une compréhension plutôt statique des initiatives en cours sans considérer l'évolution de ces modèles ni les éléments de contexte ayant pu faire concrètement émerger ou évoluer ces modèles. Par ailleurs, l'étude du panel de cas a montré que certains territoires (ex : Osaka, Terneuzen) font co-exister ces différents modèles. La question peut alors être de savoir si, dans une lecture davantage dynamique (spatiale et temporelle) que statique, ces modèles continuent à évoluer de manière additionnelle (co-existence de modèles sur une même période de temps) ou successive (évolution progressive d'un modèle vers un autre) sur les territoires ?

Chapitre 2 : Trajectoires d'évolution des territoires portuaires vers des approches territoriales d'écologie industrielle et Low Carbon

2.1. Introduction au chapitre 2 : enjeux méthodologiques et premiers constats

Afin de tester la deuxième hypothèse de recherche qui cherche à établir que les territoires portuaires ont tendance à évoluer vers une plus grande interaction entre sous-systèmes par la mise en œuvre de dynamiques territoriales d'écologie industrielle, nous nous sommes focalisés sur les cas d'étude de Ningbo en Chine, Ulsan en Corée du Sud et Marseille en France. A cette fin, un voyage d'étude en Asie a été réalisé par Nicolas Mat au printemps 2014. Ce voyage d'étude a été l'occasion d'approfondir et d'élargir les éléments de compréhension concernant le contexte, les synergies mises en œuvre et à l'étude sur chacun de ces territoires, dans une perspective historique. Ce chapitre propose ainsi une analyse plus fine des relations du port avec son environnement immédiat (ville, agriculture, milieux naturels) sur une échelle de temps dépassant le seul cadre des années 2000, ce qui permet d'introduire une analyse des transitions socio-écologiques des processus d'adaptation observées dans ces territoires, et notamment de l'émergence d'une vision et d'une approche concrète territoriale de la gestion des ressources.

Les analyses effectuées, les résultats obtenus et les conclusions qui en découlent ont fait l'objet de publications (notamment Mat *et al.*, 2015) et de différentes communications.

2.1.1. Méthodologie pour une comparaison de territoires portuaires sur les enjeux d'écologie industrielle

Afin de comparer ces différents territoires, un des premiers enjeux a été de trouver le périmètre d'analyse permettant une analyse croisée entre ces trois territoires évoluant dans des contextes politiques et économiques différents.

Les échelles métropolitaines sont ainsi naturellement apparues (Figure 16) comme celles permettant à la fois d'intégrer les sous-systèmes industriels, portuaires, agricoles et urbains, et de s'articuler avec le cadre actuel de réflexion stratégique des parties prenantes locales.

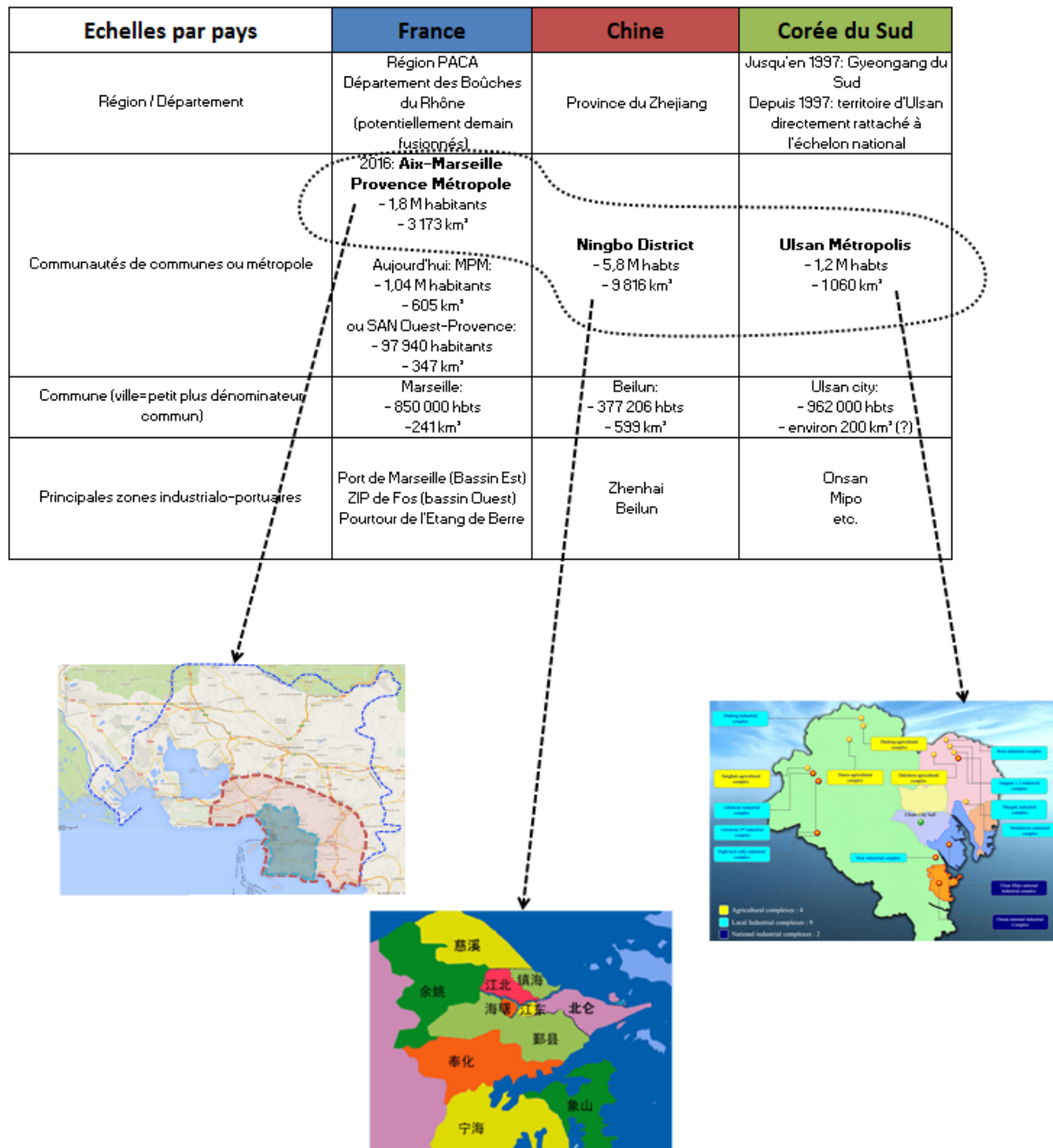


Figure 16 – Comparaison des échelles d'analyse entre Ningbo, Marseille et Ulsan

2.1.2. Une confirmation du caractère additionnel et complémentaire des différents modèles territoriaux d'écologie industrielle au sein des places industrialo-portuaires

Le Chapitre 1 a montré l'existence de différents modèles territoriaux de déclinaison de l'écologie industrielle au sein des places industrialo-portuaires, avec trois principales typologies de démarches :

- Des démarches menées à l'échelle de sites industriels (ZIP, etc.) : l'approche éco-site ;
- Des démarches s'inscrivant davantage dans une logique territoriale élargie, intégrant d'autres composantes (urbaines, agricoles, etc.) : l'approche éco-territoire ;

- Des démarches plus globales, parfois connectant des places portuaires de différents pays : l'approche éco-réseau.

Au regard des éléments étudiés dans le cadre de l'analyse comparée entre Ulsan (Corée du Sud), Ningbo (Chine) et Marseille (France), il apparaît que ces différents territoires combinent certains de ces modèles ou connaissent une succession de ces modèles (Figure 17).

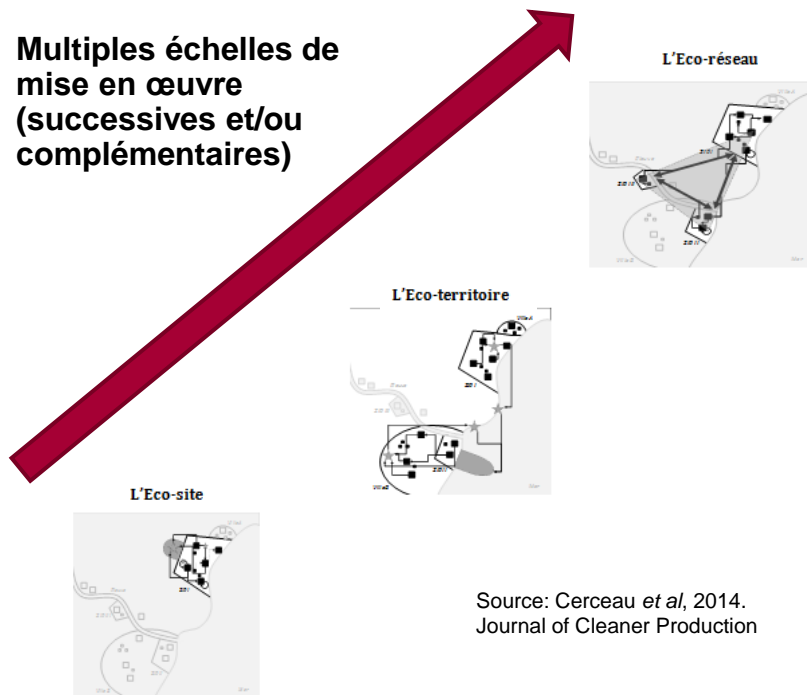


Figure 17 – Tendance d'évolution des échelles de mise en œuvre de symbioses (Mat, 2015) d'après Mat *et al.*, 2014

En fonction du territoire portuaire considéré, il apparaît différents niveaux d'action et/ou d'analyse où les enjeux d'articulation et de mise en cohérence sont évidents. C'est le cas également sur l'Axe Seine en France, où coexistent depuis 2013:

- des initiatives à l'échelle des zones industrialo-portuaires du Havre et de Port Jérôme,
- une démarche d'écologie industrielle menée à l'échelle de l'Estuaire de la Seine,
- un projet (diagnostic d'écologie industrielle) mené par l'HAROPA et qui raisonne à l'échelle de l'axe Seine, en cherchant à montrer les complémentarités à jouer entre les différents places portuaires présentes le long de l'Axe Seine, qui se retrouvent aujourd'hui sous le seul et même pilotage de l'HAROPA (GIE regroupant les autorités portuaires du Havre, de Rouen et de Paris).

Il convient de souligner qu'en France, certaines politiques publiques soutiennent la mise en place d'initiatives d'écologie industrielle à l'échelle des zones industrielles, laissant présager une multiplication d'éco-sites au sein des plateformes économiques majeures. C'est le cas notamment de la circulaire du 25 juin 2014 relative au traitement des plateformes économiques dans le cadre des

plans de prévention des risques technologiques (PPRT) : sur des zones ciblées telles que l'Etang de Berre, le Port du Havre, le Port de Dunkerque, entre autres, les règles relatives à l'élaboration des PPRT peuvent ainsi être adaptées afin de faciliter des liens techniques directs avec les entreprises de la plateforme, sous la forme d'un partage d'équipements, d'utilités ou de services, ou d'un échange de matières premières ou de matières de process. Pour autant, il convient de ne pas limiter les initiatives portuaires d'écologie industrielle au seul périmètre de la zone industrialo-portuaire. Cet enjeu est encore plus prégnant pour les zones portuaires de petite envergure, à vocation industrielle ou nautique, qui ne peuvent envisager, pour des raisons évidentes d'atteinte de seuils (masses critiques), des synergies éco-industrielles qu'en sortant de leur seul périmètre géographique et organisationnel, quitte à se confronter à des enjeux complexes de coopération ville-port et port-port (problématique de l'intégration territoriale du port, de la compétition entre places portuaires, etc.).

2.1.3. Une approche plutôt réactive

La caractérisation des initiatives, tendances et stratégies d'évolution des différentes places industrialo-portuaires asiatiques et françaises vers un futur « Low carbon », marquée par des phases différentes de régimes ou de transitions, montre que les actions entreprises et les stratégies développées sont rarement menées dans une approche pro-active mais plutôt de façon réactive, en réponse à des facteurs de contexte endogènes et exogènes variés (crises économiques ou environnementales, risques de fermetures d'usines, etc.) et qu'elles tendent dans tous les cas à favoriser le développement d'interactions physiques et fonctionnelles entre les différents sous-systèmes composant le périmètre d'étude.

C'est le cas, par exemple, depuis 2 ans sur le territoire industrialo-portuaire de Fos (près de Marseille) où la dynamique de coopération et d'innovation autour du projet de la Plate-forme Industrielle et d'Innovation de Caban Tonkin (PIICTO) résulte de la combinaison de crises structurelles d'entreprises locales (procédure de redressement judiciaire de Kem One notamment), d'une recherche de relais de croissance durable et locale et de facteurs d'attractivité de l'autorité portuaire (suite à la perte d'un important prospect commercial) et d'une volonté de sécurisation de l'emploi des collectivités locales (face au risque de fermetures d'industries locales). Cette évolution locale marque la limite des propriétés de robustesse (Anderies *et al.*, 2004) du système industrialo-portuaire pensé jusqu'alors, capable de résister à des aléas mais sans changer fondamentalement sa structure et notamment son niveau de dépendance aux sources d'énergie d'origine fossile. Or ces dernières accroissent aujourd'hui le niveau de vulnérabilité des systèmes industrialo-portuaires mondialisés, qui développent de fait de nouvelles stratégies pour mieux s'adapter dans un contexte d'incertitudes et de transformations locales et globales, souvent brutales (aléas économiques, environnementaux, politiques, etc.).

Ces éléments tendent à mettre en évidence, dans le contexte d'une recherche et d'une opérationnalisation de la transition énergétique, la valeur et l'intérêt d'une approche systémique et complexifiée pour augmenter le niveau de résilience du système industrialo-portuaire.

Ce chapitre correspond principalement à la publication suivante :

- Mat, N., Cerceau, J., Shi, L., Park, H-S., Junqua, G., Lopez-Ferber, M., 2015. Socio-ecological transitions toward low-carbon port cities: trends, changes and adaptation processes in Asia and Europe. *Journal of Cleaner Production*. [doi:10.1016/j.jclepro.2015.04.058](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.058)

Ce chapitre s'appuie également sur les productions et compléments apportés aux publications suivantes :

- *Annexe n°3* : Mat, N., Cerceau, J., Junqua, G., Dagnet, F., Moine, H. La gouvernance Port-Ville face aux enjeux d'une société bas-carbone : illustration avec le cas de Marseille-Fos. Article (capsule professionnelle) publié dans l'ouvrage collectif co-dirigé par Alix, Y., Delsalle, B. et Comtois, C. (Coord). *Port-City governance*. Collection Les Océanides (2014).
- Mat, N., Cerceau, J. Chapitres publiés dans l'ouvrage collectif co-dirigé par Alix, Y., Mat, N., Cerceau, J. *Economie circulaire et écosystèmes portuaires*. Collection Les Océanides (2015).

2.2. Trajectoires socioécologiques vers des villes portuaires bas carbone : processus d'adaptation en Asie et en Europe



Socio-ecological transitions toward low-carbon port cities: trends, changes and adaptation processes in Asia and Europe

Nicolas Mat ^{a,*}, Juliette Cerceau ^a, Lei Shi ^b, Hung-Suck Park ^c, Guillaume Junqua ^a, Miguel Lopez-Ferber ^a

^a LGEL, Ecole Nationale Supérieure des Mines d'Alès, 6, avenue de Clavières, 30319 Alès Cedex, France

^b State Environmental Protection Key Laboratory of Eco-industry, School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China

^c Center for Clean Technology and Resource Recycling (689-749) 35-404, University of Ulsan, Daehakro 93, Nam-Gu, Ulsan, South Korea

ARTICLE INFO

Article history:
Received 29 August 2014
Received in revised form
4 March 2015
Accepted 18 April 2015
Available online xxx

Keywords:
Industrial ecology
Industrial symbiosis
Energy
Port-city interface
Socio-ecological transition
Asia–Europe comparison

ABSTRACT

Industrial port cities are essential components in a society dependant on fossil fuels and low cost energy. In the global move towards a low-carbon society, industrial port cities are emblematic of complex and integrated socio-ecological systems, which are experiencing transition processes related to interactions between bio-geo-physical components and governance. Using a socio-ecological system framework, this article provides insights into innovative regional eco-industrial development strategies for moving toward a low-carbon future in industrial port areas. Based on three case studies (Marseille-Fos in France, Ningbo in China, and Ulsan in South Korea), our analysis focuses on the changing relationships between energy, land cover, time use, and governance. The historical socio-ecological transition of industrial port cities is described as a stepwise process of spatial and functional disconnection/connection of port industrial complexes, which decouple/combine the port city's metabolism from local resources. We highlight the impacts of globalization on port-city socio-ecological trends, describing the effects of the integration of port cities into global economic processes, the impact of global awareness on global environmental changes, and the accelerating pace of change. We compare low-carbon strategies, revealing similarities in terms of conversion toward low carbon sources and growing connectedness and functional diversity of port-industrial systems.

© 2015 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

More than 50% of the world's population now lives in urban areas. Around the world, urban areas are expanding on average twice as fast than their populations (Seto *et al.*, 2012). Cities, as concentrated centers of production, consumption and waste disposal thus drive major global environmental challenges such as biogeochemical cycles, climate, biodiversity (Grimm *et al.*, 2008). They drive planetary processes overriding the biosphere's established balances, cycles and feedbacks (Chen *et al.*, 2014). In particular, urban areas are responsible of 80% of humanity's greenhouse gas (Feng *et al.*, 2013). Therefore, cities play a crucial role in determining the socioecological trajectories of nations, and, in particular, their energy and carbon emissions profiles and trends. In 2010, 65% of cities with populations above 1.3 million were located along the world coasts (Vallega, 2001). In 2030, urban population growth will be concentrated in a few regions, including long coastal urban corridors (Seto *et al.*, 2012). The disproportionate location of cities along rivers and coastlines make these areas major contributors to low carbon strategies. Coastal areas, and especially port cities, concentrate factors that have been proved to have a direct influence on CO₂ emissions. Through their literature review, Wang *et al.* (2012) pointed out that CO₂ emissions were positively related to economic growth, demographic growth, urbanization, industrialization and trade liberalization. In port cities, the conflict between emission reduction targets and economic growth appears inevitable and may affect port-industrial competitiveness and resilience. Moreover, port cities are at the core of energy transition issues. A significant proportion of maritime exchanges concern fossil energy products. In 2011, 2.820 million tons of crude oil and oil products were transported on globally established maritime routes, accounting for nearly 32% of global maritime traffic. In 2010, global Liquid Natural Gas (LNG) shipping increased by 22% to 297.6 billion Nm³. There were ninety LNG terminals in 20 countries, while China was planning to build 6 new LNG terminals. In response to the growing demand of developing countries, coal exportations increased by than 14% in 2010, to 904 million tons, or 10% of global traffic (UNCTAD, 2011). On the other hand, the scarcity of fossil fuel resources questions port-city adaptability and vulnerability in the long term. Driven both by forecasts for increasing oil prices that may diminish imports in the future, and by the increasing stringency of national environmental regulations and energy independency strategies, many ports have to consider new energy strategies (Merk, 2011). These strategies herald a revolution in the main function of ports, from the importation of foreign energy sources (coal and oil) to the production of local low carbon energy including off- and on-shore power and renewable energy generation.

Among the low-carbon strategies, this article focuses on the innovative regional eco-industrial development policies implemented in port city areas. Industrial ecology (IE) seeks to optimize resource management by intensifying interactions between different stakeholders occupying a common geographic area. Industrial symbiosis (IS) has been defined as engaging traditionally separate activities in physical exchanges of materials and energy (Chertow, 2000). IS presupposes better coordination between economic actors (Boons and Baas, 1997). Going beyond the technological changes in processes and products, IE articulates technological and organizational innovations (OECD, 2009). Cerceau *et al.* (2014) provide an international survey that describes the different port-city strategies adopted to implement IE, from port-based IE complexes to inter-port IE networks. The purpose of these low carbon strategies is not to evolve toward energy self-reliant nor net energy producing areas. The objective is to keep creating value by generating fewer greenhouse gas emissions and by consuming less energy through technological development and optimization of the management of consumption and production processes. The increasing use of local and renewable energy is also considered as a lever, although it supposes that the operating conditions of the intermittent type of energy sources should be adjusted to meet out the future demands.

The factors which contribute to the socio-ecological transitions for moving towards a low-carbon future are better understood today. Among the recurring factors that can explain or foster the global move toward a post carbon transition, the Intergovernmental Panel on Climate Change consider the rising energy prices, the increasing environmental awareness leading to a change in pollution and emission standards, the will to secure supplies and reduce dependence on imported fossil fuels, the concrete effects of climate change on agricultural yields, the rising sea levels as well as the technological development (IPCC, 2014). They are also common factors that apply to port industrial areas, although no specific baseline factor really stands up. The major difference concerning these port industrial areas is not so much of qualitative nature (the energy mix is not so different than that consumed in other industrial areas) but of quantitative nature (consumption levels and energy dissipation are much higher than in other industrial areas).

Port cities thus appear as microcosms of low carbon challenges and offer opportunities to highlight different low carbon development patterns. This article analyzes the current changes and adaptation processes toward a low-carbon future in port cities in Asia and Europe, focusing on three in-depth case studies: Marseille in France, Ningbo in China, and Ulsan in South Korea. It has become evident that urban development problems require a multidisciplinary approach to enhance the understanding of the role of urban areas in global environmental change. Urban ecosystem modeling (UEM) integrates the theory and methods of natural, engineering and social sciences, considering the city as a whole system emerging through the socio-techno-ecological components and interactions they encapsulate (Chen *et al.*, 2014). Embedding in the UEM conceptual framework, we consider port cities as complex, dynamic and adaptive socioecological systems. Alike other ecosystems, port cities have their own structures, processes and functions. We employ the concepts of socio-ecological regimes and transitions to identify and analyze the changes and adaptation processes in these European and Asian port cities. The socio-ecological system (SES) framework focuses on complex and integrated systems that emerge through the continuous interactions of human societies with ecosystems (Redman *et al.*, 2004; Haberl *et al.*, 2006). For instance, the spatial patterns of urban and industrial expansion – and associated land cover and land use – affects carbon storage, energy use and carbon emissions (Seto *et al.*, 2012). It regards these socio-ecological interactions as a dynamic process in which self-organized sub-systems interact. Resource systems and units, users, and governance systems are relatively separate, but interact to produce outcomes at the complex SES level (Ostrom, 2009). The evolution of human societies can be understood as the succession of different socio-ecological regimes that establish distinct patterns of society-biosphere interactions (Krausmann, *et al.*, 2008; Schandl *et al.*, 2009). Technological change, economic developments, political revolutions, and resource scarcity at the global scale have a decisive impact on socio-ecological interactions in specific regions (Haber *et al.*, 2006). Krausmann and Fisher-Kowalski (2013) provide a macro-perspective on the evolution of society-interactions during industrialization, highlighting the links between global energy metabolism, technological changes, economic and demographic developments, and environmental issues.

Following Young *et al.* (2006), we propose to consider the effects of globalization on the resilience, vulnerability, and adaptability of port city systems. Globalization can be defined as a process “that encompasses the causes, course and consequences of transnational and transcultural integration of human and non-human activities” (Nayef *et al.*, 2006). It refers to the worldwide integration and compression of temporal and spatial dimensions of human-nature interactions. Port industrial areas are deeply embedded in the globalized system. For Hoffmann and Kumar (2010), transport is one of the cornerstones of globalization, as the increased efficiency of port and shipping services has made it easier to buy and sell products at an international scale. Globalization of port activities does not only affect the port industrial complex, it also has impacts on the port region. In fact, the evolution of port cities can be explained in terms of interrelations between global and local trends. Ducruet (2009) shows that the regional environment in which ports operate is of great importance. He argues that ports cannot be considered as isolated entities connected to a global virtual network. They are part of a regional socio-economic context, and the way this context evolves strongly affects the performance of a port. Jung (2011) reviews major literature regarding port-city interfaces and highlights two distinct views about the relationship between logistic activities of ports and local economic growth. The more classical view emphasizes the pull effect of ports on the economy. An alternative view considers local development to be a generator of port development. This debate highlights the existence of synergistic relationships between ports and their local regions.

We aim to identify and analyze the changes in the socio-ecological regimes of port cities as well as the exogenous and endogenous processes that foster the emergence of new opportunities that lead to transitions from one regime to another. We conceptualize the historical socio-ecological transition of industrial port cities as a stepwise dynamics of spatial and functional connection/disconnection of a port-city’s metabolism with/from local resources. For each case study, we investigate the changes in energy metabolism, land use, time use, and local governance, and highlight how global traffic trends affect local socio-ecological regimes. We provide insights into the long-term dynamics of port city socio-ecological trends, and discuss the different timeframes, port-city interfaces, and post-carbon strategies, focusing on innovative regional eco-industrial development policies approaches observed in Europe and Asia. We question the capacity of these IE strategies to reduce vulnerability thanks to adaptability and innovation.

2. Identification of socio-ecological regimes and transitions: methodological framework

2.1. Case studies in Europe and Asia

In order to analyze processes that change over the medium and long term, socio-ecological approaches encourage the comparison of results among different sites (Redman *et al.*, 2004). Such a comparison needs case studies that can be compared (i.e. that have some similarities) and can highlight different trends and trajectories (i.e. that also have relevant differences). This article compares socio-ecological trajectories of three case studies in Europe and Asia: the Aix-Marseille-Provence metropolitan area in France, the Ulsan metropolitan area in South Korea, and the Ningbo District in China.

These three case studies have in common the following characteristics (Table 9):

- *Scale of analysis*: since administrative boundaries are very different in Europe and Asia, it was difficult to identify comparable scales of analysis. Focus on the inter-municipal cooperation level appeared to be a common denominator: inter-municipal cooperation occurs at the metropolitan scale in Aix-Marseille-Provence and Ulsan, combining different industrial, urban and rural municipalities. Similarly, in China, the district of Ningbo brings together urban areas such as Beilun, Zhenhai, and Yinzhou, and county areas such as Cixi and Xiangshan.
- *Diversity of land use*: land use and cover change have been identified as one of the prime determinants of global changes (Foley *et al.*, 2005). To observe the trends in land use change, the study area has to include different types of land use (Ohl *et al.*, 2007). Case studies include within their perimeter: 1/ port industrial areas, 2/ urban areas and 3/ agricultural areas (Figure 18).
- *Energy input and production*: in each case study, energy represents a major flow of the local metabolism, both in terms of inputs linked to the port traffic and in terms of production linked to energy transformation and the industrial production system. In each of these case studies, economic activity is structured around harbor-based industries (petrochemical industries, paper making, steel industry, electronic & IT industries, energy industry), logistics and container shipping, and other traditional industries such as textile and plastics, cars factories, and shipbuilding. Among them, petrochemical industries, steel industry, energy industry are energy-intensive industries characterized by a relatively high consumption of primary and secondary energy in their production process (Wang *et al.*, 2015)
- *Low carbon strategies*: each of these case studies is experimenting with initiatives turned toward a low-carbon transition, including IE approaches. Aix-Marseille-Provence Métropole launched an energy transition project aiming to increase energy efficiency, stimulate innovation and synergies at a metropolitan scale. Ulsan Metropolitan City defined a strategy for low carbon green growth through two major objectives: 1/ greenhouse gas reduction and low carbon city; 2/ global stronghold for green industry. In 2013, Ningbo launched a project for strengthening the capacity of low-carbon development and energy efficiency, focusing on small and middle size companies.

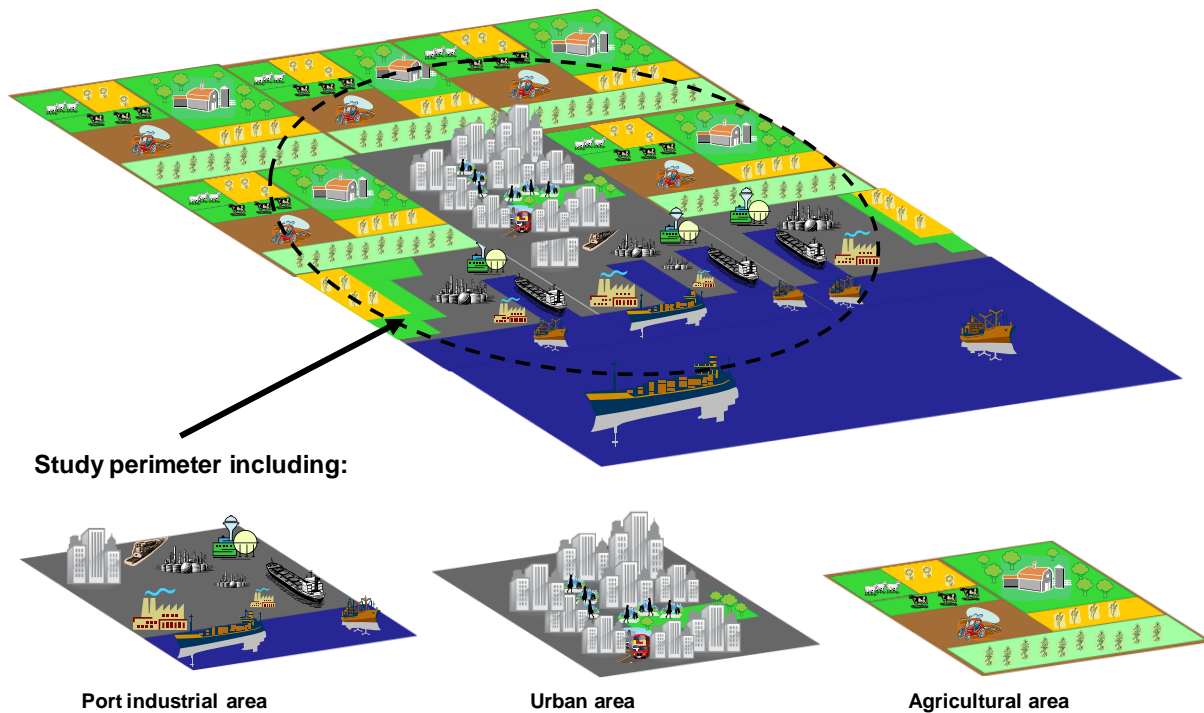


Figure 18 – Case studies perimeter including port industrial area, urban area, and agricultural area

| Case studies | Scale of analysis | Port industrial area | Urban area | Agricultural areas | Energy input and production | Current innovative regional eco-industrial development policies |
|--|--|----------------------|--------------------|---------------------|---|---|
| Aix Marseille Provence metropolitan area (France) | 1.833M inhabitants 3 173km ² | 104km ² | 396km ² | 936km ² | Input: 6.55MWh / year/ capita Production: 2.18MWh / year/ capita | Innovative strategy for the energy transition |
| Ningbo district (China) | 5.777M inhabitants 9 816km ² | 172km ² | 170km ² | 3185km ² | Input: 8.85MWh / year/ capita Production: 2.3MWh / year/ capita | Ningbo circular economy pilot city and eco-industrial park |
| Ulsan metropolitan area (South Korea) | 1.2 M inhabitants 1 060km ² | 64km ² | 50km ² | 114km ² | Input: 24.47MWh / year/ capita | Ulsan eco-polis and Ulsan eco-industrial park |

Table 9 – Case studies considered in Europe and Asia

These case studies also have major differences that allow to highlight different trends and trajectories toward low carbon strategies: in terms of economic development, Aix Marseille Provence Metropole is

located in an old industrialized European country, characterized by a long history of industrialization and globalization and an advanced and high-income, albeit stagnating, economy; Ningbo, in a new industrialized country, characterized by a real economic takeoff; Ulsan, located in one of the four Asian dragons, reaching an advanced economy after a rapid industrialization and high growth. Demographic trends and forecasts are also quite different: although urban population growth is a global phenomenon, half of the increase is forecasted to occur in Asia, and especially on Chinese coastal areas (Seto *et al.*, 2012). Beyond the differences in terms of economic and demographic levels, the main differences concern the time scale of these evolutions.

2.2. Identification of socio-ecological regimes and transitions

In order to gain a socio-ecological understanding of port change and adaptation processes, we focus on specific activities that mediate between societies and ecosystems. Inspired by the model proposed by Redman *et al.* (2004), we conceptualize socio-ecological patterns and processes in port industrial regions as a stepwise change in interactions between coastal ecosystems and port cities that is expressed locally through changing relations of energy metabolism, land use, time use, and local governance (Figure 19). Each socio-ecological regime is described on the basis of a specific characterization and articulation of these 4 variables. In terms of UEM, we endorse a hybrid approach, combining top-down models concern with economic and biophysical processes (energy flows, activity sectors) and bottom-up models focusing on land use (Chen *et al.*, 2014).

Energy appears to be a determining dimension of socio-ecological interactions. For Krausmann and Fisher-Kowalski (2013), the availability of energy plays a crucial role as it defines the limits on the capacity of human societies to extract, transport, and transform resources. Specific attention is thus paid to primary energy sources. Land use and cover change have also been defined as one of the relevant indicators of interactions between socio-economic and ecological processes (Redman *et al.*, 2004, Haberl *et al.*, 2006). For Verburg *et al.*, (2009), land change cannot be understood without considering the layer of soil and biomass (land cover), the purposes for which humans exploit the land cover (land use), and the provision of goods and services offered by the land system (land functions). For instance, urbanization has a direct impact on biomass (land cover), terrestrial carbon storage (land functions) and appears as the main driving factor for CO₂ emissions through human activities and mobility developed in cities (land uses) (Seto *et al.*, 2012; Wang *et al.*, 2012). They highlight the importance of land function change on the local context. Urban, agricultural, and industrial areas can be considered through the functions they provide to society, based on a wide range of activities. Land use is thus closely interconnected with time use. Time use corresponds to demographic data concerning the structure of activities and employment that are crucial factors influencing land use types and intensity and transformation of land cover (Ohl *et al.*, 2007). Finally, local governance, especially in port regions, which are often influenced by both national and local policies, appears to be a key factor for understanding major socio-ecological trends. It can be defined as the organizations and rules that govern the economic development of a port region and coastal preservation.

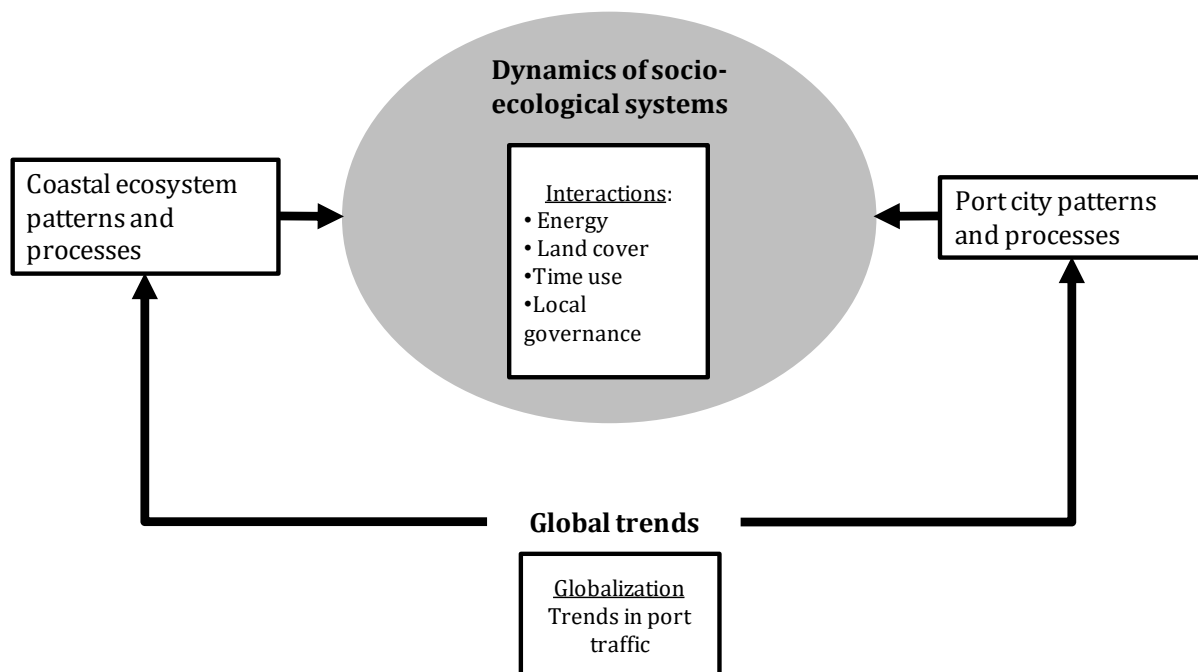


Figure 19 – Characterization of socio-ecological patterns and processes

To qualify the impact of globalization on the socio-ecological dynamics of a port region, we compared the local changing relations of energy metabolism, land use, time use, and local governance with the total traffic in the port. Our objective is to understand the impact of the trends in a port’s overall traffic (in terms of total tonnage and distribution) on local socio-ecological regimes and transitions. It also allows describing the different regimes and transitions steps toward low carbon development. Su *et al.* (2012) shaped an evaluation index system, among which energy (structure and usage efficiency), time use through economic structure and land cover through urbanization appear as relevant criteria to characterize the urban low carbon development level of a city.

3. Socio-ecological regimes and transitions in port cities in Europe and Asia: analysis of three case studies

3.1. Aix-Marseille-Provence metropolitan area (France)

Table 10 presents the different socio-ecological regimes and transitions in the Aix-Marseille-Provence metropolitan area from the beginning of the 20th century to the present (Figure 20).

| | Regime 1 Until late 1920s | Transition 1930s-late 1970s | Regime 2 1980s-2000s | Transition 2000s-... |
|------------------------------|--|---|---|--|
| Primary energy supply | Mainly steam, biomass and coal | Transition toward electricity and fossil fuel energy Disconnection from local sources of energy | Fossil fuel | Primary energy supply change to include local and renewable energy |
| Land cover, land use | Polarization toward Marseille port city Concentration of urban and industrial activities in Marseille | Decline of Marseille’s historic port city Disconnection of Marseille and peripheral industrial areas | Multipolarity of Marseille area: stagnation of Marseille’s historic port city, expansion of western port industrial areas | Transition toward metropolization: new equilibrium between Marseille and western poles |

| | | | | |
|--|--|---|---|---|
| Time use | Port-based traditional activities (oil mill, sugar refinery, ship repairing, etc.) | Decline of port-based traditional activities Arrival of multinationals | Tertiarization of Marseille's activity Fossil fuel based industry: petrochemical complexes Development of LNG terminals | Vulnerability of fossil fuel-based industry |
| Local governance | Port city development led by local authorities | Port reform; transition toward a national governance of Marseille port | National governance of port areas | Port reform: port as local developer Development of the metropolitan project with local stakeholders |
| Response to trends in total traffic | Importations toward local companies Traffic with the colonial empire | Adaptation to the exponential growth of total and especially oil traffic | Robustness and resilience to the oil shocks | Vulnerability and adaptability to Marseille "oil shock" |

Table 10 - Socio-ecological regimes and transitions in Aix-Marseille-Provence metropolitan area

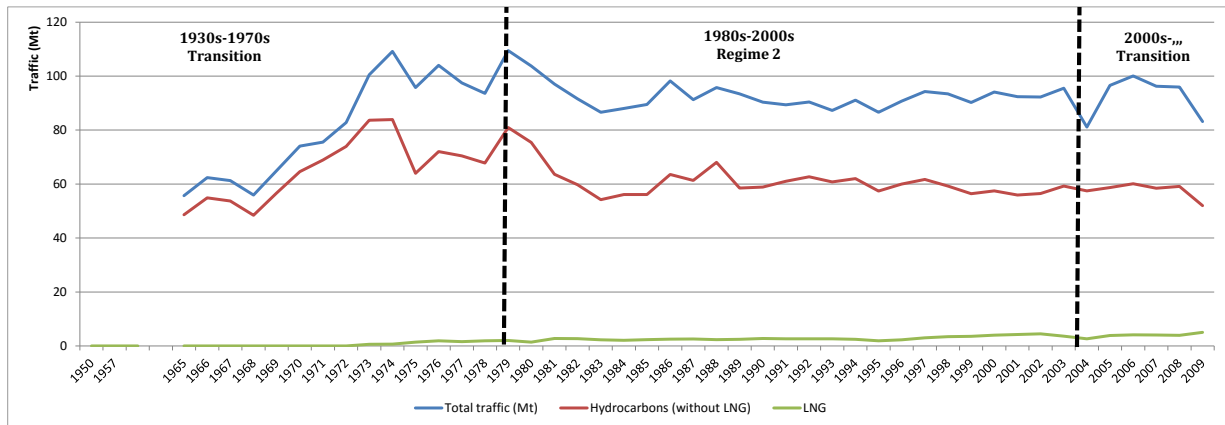


Figure 20 - Total traffic and hydrocarbon traffic in Marseille area

The “primitive port city,” characterized by a close spatial and functional association of the old harbor and the city, became increasingly congested (Hoyle, 1989). The need to expand justified the move away from the traditional waterfront, with the development of petrochemical industries around the Etang de Berre (1860-1935). These new port industrial areas were considered as Marseille’s spatial overflows or annexes (Borruey, 1998). Strong interactions were maintained between port traffic and trade, industry and city (Georgelin, 1991). In 1900, 70% of importations were destined for local industries (Roncayolo, 1963). Naval weapons manufacturers, ship repairing activities, and storage and trading companies were owned by a historical network of Marseille families. Local food industries (sugar refinery, oil mills, manufacture of pastas) developed based on the relationships of Marseille with the colonial empire (Garnier and Zimmermann, 2006). Port related industries as well as urban activities were mainly based on a coal based energy system: in 1938, 62.8% of electricity provided by the coal power plant in Gardanne was used by industries, and 28.7% provisioned residential users (Wolkowitsch, 1991).

During the 1930s, major refineries were built in the Marseille port area. The increasing demands of oil for transport, domestic heating, and electricity production resulted in the exponential growth of local refining capacity, from 3 million tons in 1948 to 14.2 million tons in 1961. While in 1938, crude oil imports hardly reached 1.5 million tons, it exceeded 12 million tons in 1960, and reached 60 million tons in 1970 (Ricard, 1979). The national transition toward a fossil fuel-based energy system, disconnected from local sources of energy, is also reflected at the local scale. While in 1951, 58% of electricity provided by the coal power plant of Gardanne was still used by industries and 28% provisioned residential users, in 1968, only 33% of coal based electricity supplied local industries and 3.8% provisioned residential needs (Wolkowitsch, 1991). The collapse of the colonial empire and the globalization of the economy resulted in a deep transformation of Marseille’s spatial and economic configurations. Traditional activities of Marseille port city suffered from national and international competition (Kinsey, 1978; Garnier and Zimmermann, 2006).

The surviving factories were absorbed by multinational companies such as Unilever, Panzani or Beghin Say, and became disconnected from the local context and interests. The port industrial complex in Marseille's old harbor began to decline. With the port reform of 1965, the governance model of Marseille's port changed, from the local operation of the port areas to a management system mainly driven by the national government (Garnier and Zimmermann, 2006). The French government imposed a deep change in local planning, by shattering the traditional regime polarized on Marseille's historical harbor and opening up new peripheral areas for industrial development (Garnier and Zimmermann, 2006). For example, the Fos port-industrial complex, inaugurated in 1968, was meant to stimulate self-sustained growth in the region (Kinsey, 1978). The stagnation of Marseille's historical port-city resulted in a progressive process of disconnection between the city and its peripheral areas (Fellmann and Morel, 1989). At the end of this period of transition, the metropolitan area of Marseille showed two different faces: a modern, dynamic, and highly productive area in the west, and a declining industrial base still surviving in the east (Kinsey, 1978).

In 1970, the main characteristics of a new socio-ecological regime were in place. The Fos port industrial area began its commercialization operations, welcoming industries such as Gaz de France, Air Liquide, Imperial Chemical Industry, and Solmer steelworks (Ricard, 1979). The building of these industrial complexes resulted in the important immigration of temporary construction workers: in 1973-1974, there were 17,000 workers. The chemical and petrochemical industries provided a growing number of jobs: in 1971, 13,800 people worked in these sectors. There were more than 20,500 in 1975 (Kinsey, 1978). Even if the volume and the productive capacity of Fos were not as high as expected, it became the biggest French port industrial complex, one of the most important in the Mediterranean area (Garnier and Zimmermann, 2006). Port traffic continued to grow exponentially. It nearly doubled from 1965 to 1973, from 55.7 million tons to 100 million tons. In 1973, 89% of this overall traffic concerned crude oil and refined importations and exportations (Ricard, 1979). The development of Fos, Lavéra, and Etang de Berre confirmed the multipolarity of Marseille's port area, each pole fostered its own dynamics and autonomy (Garnier and Zimmermann, 2006). The oil shocks did not challenge the local SES: although the global traffic dropped down in 1983, port industrial activities appeared to be robust and adaptable. With the development of major industries in Fos, Lavéra, and Berre, optimization of processes was integrated and flow exchanges developed between companies. For instance, in 1972, Air Liquide started using the frigories released during the regasification of the LNG received by Gaz de France. Inter-industries synergies were also developed between Ugine Acier and Solmer, or Naphtachimie and ICI (Kinsey, 1978). In 1973, a 37% decrease in the Etang de Berre refinery capacity enabled the refinery to adapt to the new context of supply and demand. In the 1980s, refinery industries started converting their operations by reducing energy consumption, and making a transition toward the production of gasoline and diesel fuel. The diversification of their activities also involved the production of basic inputs for petrochemical industries, resulting in the creation of integrated petrochemical complexes (Wolkowitch, 1991). In 1986, the refining capacity dropped to 26.6 million tons. Port traffic was diversified: the opening of the Fos Tonkin LNG terminal in 1972 allowed LNG traffic to develop, starting with 0.9 million tons in 1973, and exceeding 3 million tons in 1983 (Ricard, 1979). The opening of Fos Cavaou LNG Terminal in 2010 confirmed this trend. The containerization of port traffic can also be analyzed as an adaptation to trends in international trade.

2008 could mark a turning point in Marseille's socio-ecological regime toward a new transition. Some of the early warning signs of such a transition include the loss of 10 million tons of hydrocarbons between 2008 and 2009 in the total traffic, which was considered to be an oil shock locally (Vinzent, 2014). This change could challenge the role of Marseille's port as an importer of fossil fuel energy. In 2011, the closing of the LyondellBasell refinery, which was active in the Etang de Berre area since 1929, was announced. At the same time, the overall trend in the raw material market and the reorganization of the steel industry at an international scale question the future of the steel industry in Fos. A first step toward structural change may be seen in the transition of port management. As the port area had not welcomed new industrial projects since 1989, the port management had to revise its commercialization tactics and develop new strategies including IE, technological mapping, and energy services. Moreover, the new port reform redefined the role of French port authorities. Focusing on issues of local planning, economic development, and multi-modal connections, ports were invited to reconnect with their local context and especially rebuild the port-city interface. At the same time, the project of creating an Aix-Marseille-Provence metropolitan area, which had developed since the 1970s, took on a new dimension with the creation in 2012 of an inter-ministerial committee for the definition and development of the metropolitan project. The goal of this project is to go beyond the polycentric spatial and economic organization of the area in order to rebuild territorial coherence at the metropolitan level with local stakeholders. A specific part of

this mission deals with the energy transition in the metropolitan area: considering that the metropolitan area only produces 6% of the energy it consumes, which only includes 2.1% in renewable energy, the objective is to move toward relative local energy independency by making the most of local sources of energy (MIPPM, 2013). IE is involved in the metropolitan strategy, fostering projects of attractive industrial synergies for new activities and encouraging better port-city nesting through the implementation of energy exchanges between industrial and urban areas. This implies a profound change in the local function of the port and structure, from an importer of energy to and energy producer and operator.

3.2. Ningbo district (China)

As presented in Table 11, trends in the port city in the Ningbo district can be divided into four distinct periods: from a traditional regime, a transition stepwise process started in 1980-1990, marked by a regime or stage at the beginning of the 21st century.

| | Regime 1 Until 1980/90s | Transition From 1980/90s to 2000 | Regime or stage 2 From 2000 to 2005 | Transition From 2005-... |
|--|---|---|---|--|
| Primary energy supply | Mainly coal and biomass | Out-of-coal strategy Primary energy supply change to include local and renewable energy Real energy intensity change | Decrease in energy efficiency at a provincial level Weak industry growth/environmental pressure coupling | Increase in energy efficiency at a provincial level Decrease in energy intensity at a provincial level Strong industry growth/environmental pressure decoupling Decrease in CO ₂ emissions |
| Land cover, land use | Small inland port | Hub port city: development of industrial activities from the city toward the coast along the river as well as around major roads Decline of agricultural areas | Hub port city | Polycentric global hub port city |
| Time use | Mainly agricultural activities | Decline in agricultural activities Development of industrial complexes | Development of industrial complexes – technical progresses | Migration of high tech enterprises to seek cheaper labor force and raw materials |
| Local governance | Port handled by the Chinese government | Port reform: transition toward local governance of Ningbo port city | Local governance of Ningbo port city | Local governance of Ningbo port city |
| Response to trends in total traffic | Importations toward local hinterland, including coal produced in northern China | Adaptation to the exponential growth of global traffic | Adaptation to the exponential growth of global traffic | Adaptation to the exponential growth of global traffic |

Table 11 – Socio-ecological regimes and transitions of Ningbo district

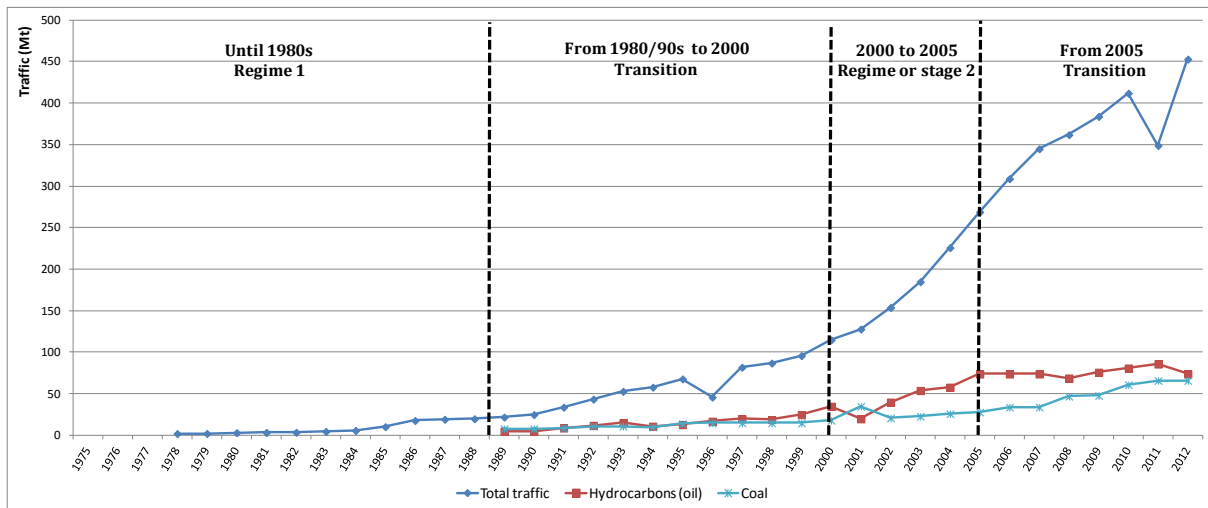


Figure 21 – Total traffic and hydrocarbon traffic in Ningbo district (no data before 1978)

Before the early 1980s, Ningbo port city was an emblematic “primitive port city” (Hoyle, 1989) with a close spatial and functional connection between the city and the port. For Liu (1995), the international situation and a policy focusing on economic development in the interior area of China explained that the construction of ports did not received high priority. Ningbo port was a small inland port with a cargo throughput of only 40,000 tons in 1949. Zhejiang province was mainly an agricultural area. In 1978, while the population of Ningbo reached 4.57 million inhabitants, 86% were rural workers, mainly dependent on agriculture and fishing for their livelihoods (Ningbo yearbook, 2013). Historically, the main source of energy in China has been coal, which is used for electric power generation, railway transport, industrial inputs, and heating fuel for the residential and commercial sectors. After the Second World War, China had no foreign exchange and thus had no option but to depend on coal as the main source of energy (Thomson, 2003). Most of the coal was consumed in Manchuria, Shanghai, and in Treaty Ports including Ningbo. In 1936, 22.9% of coal total consumption was concentrated in the central and eastern regions of China (Thomson, 2003). For Thomson (2003), energy shortages have greatly hindered the industrial, agricultural, and social development of China. The lack of an alternative to coal led to the exploitation of biomass in rural areas, resulting in a loss of thousands of square meters of fertile land.

With the rapid growth of foreign trade, the attention given to port construction was of a much higher priority. It culminated in the opening of China policy in 1978. The construction of ports was regarded as a lever to foster national economic development (Liu, 1995). During the Sixth and Seventh Five-Year Plan (1981-1990), the Chinese government decided to build four international deep-water ports in strategically important economic areas. Among them, Beilun in Ningbo was regarded as a promising area for fostering coastal transportation of mineral and energy products (Wang *et al.*, 2008). In 1984, the Ningbo Economic and Technological Development Zone and the Ningbo Free Trade Zone were created in order to welcome major port industrial activities. In the 1990s, foreign and local investments led to the establishment of a 5 million tons capacity oil refinery and a 300,000 ton capacity ethylene plant, a power plant, a paper mill, a steel plant as well as associated docks and facilities (Wang *et al.*, 2013). In the same period, a 100,000-ton ore berth was built in the harbor (Liu, 1995). The development of port-industrial zones led to an exponential increase in the total traffic. In 1980, the total cargo volume at Ningbo port was around 3 million tons. 233 Ktons of oil products were shipped to Japan, the United States, and Hong Kong. Total cargo traffic reached 25 million tons in 1990: 60% of Ningbo exported goods were coal, crude oil, and oil products. The main imported goods or raw materials are iron ore from Australia and Brazil (2Mtons), coal (8Mtons), crude oil (2Mtons) and oil products (1.3Mtons). Ningbo was considered to be the hub for transshipping oil products to other Chinese ports. The development of the Beilun port industrial zone, 40km east of Ningbo city, can be seen as a relative port-city spatial disconnection. Nevertheless, Ningbo can be considered as an emblematic hub port city, as defined by Lee *et al.* (2008), with increasing port productivity concomitant to flow exchanges and organizational interactions with the urban center. In terms of flows exchanges, the port serves the local economic development of Zhejiang province as well as the city of Ningbo (Lo and Song, 1992). Indeed, in the late 1990s, the spatial development of port-related industries, although growing outwardly of the city, were concentrated around local logistic corridors, near

the Yangtze River, and around the main roads. In terms of organizational interactions, with the reform of the port administration system from 1984 to 1988, the jurisdiction of coastal ports was transferred from the Ministry of Communications to the local authorities. Ningbo port administration was thus transferred to the Ningbo municipality, which was authorized to institute local laws.

The energy industry was a core component of the Sixth Five-Year Plan (1981-1985). The determination to open up China was characterized by a persistent pursuit of foreign capital and technology in order to develop foreign technology, import, and establish joint ventures (Thomson, 2003). Even with the reform and opening up program, the switch toward more modern and efficient fuels has always been deferred. The energy transition required huge investments in new infrastructure and technology that government could not afford (Thomson, 2003). However, the demand for coal began to decline: urban consumption switched to gas for cooking and heating, industries replaced coal with oil or electricity in order to compete internationally. In the mid-1990s, the government gave clear instructions to begin a gradual phasing out of coal (Thomson, 2003). This announced structural change in the primary energy source occurred while the awareness on local and global effects caused by the burning of so much untreated coal could no longer be ignored. The 1990s were also marked by the energy intensity fall in China's industrial sector: 88% of the cumulative energy saving in the industrial sector from 1990 to 1997 were attributed to real intensity change, with 80% of such saving from the four energy intensive industries including steel industry and chemicals (Zhang, 2003).

In the 2000s, the transition process seems to reach a step, although the traffic flows still continue to increase. In 2000, the shipping exceeded 110 million tons. In 2012, Ningbo port was considered to be one of the largest international ports, with an annual cargo throughput of 453 million tons, including 66 million tons of coal and 55 million tons of crude oil. The rapid economic development had a high cost in terms of resource and environment. This stage or regime is characterized by weak coupling of industrial growth and environmental pressure. From 2001 to 2005, the Zhejiang energy efficiency decreased and several main environmental pollutant emissions increased significantly. In 2004, Ningbo energy consumption represented nearly 1 million tons of coal per year, and results in a high production of atmospheric pollutants (194 million m³ of waste gas, and up to 20 million tons of SO₂ (Ningbo yearbook, 2006). 6 major industries represent 85% of total consumption of the region of Ningbo (Beilun yearbook, 2013). The high dependence on fossil energy resources, backward technology and outdated equipment finally resulted in technical regress at a national level (Wang *et al.*, 2014).

From 2005, Ningbo port city is in a critical period of transformation toward cleaner energy sources. In Ningbo district, in 2006, a study was conducted to assess the opportunity to convert Zhenhai Power Plant from coal to natural gas power generation. The construction of the East China Sea gas field and the implementation of the LNG terminal also constitute first steps toward this energy transition. The circular economy, promoted in China since the 2000s, also participates in this transition: the main objective is to decrease energy consumption in Ningbo port city. Since 2000, the Ningbo region has aimed to develop looped recycling systems between the 7 major industries, including petrochemical industries, the steel industry, and a paper mill. In 2005, Ningbo Chemical Industrial Zone is listed as a Circular Economy Pilot Park as companies formed a chain of industrial clusters based on the circular economy model (Wang *et al.*, 2008). This period is characterized by the beginning of a strong decoupling between industrial growth and environmental pressure (Wang *et al.*, 2015). The east region is leading in terms of energy efficiency, by the active introduction of foreign advanced energy technology, equipment and management experience (Wang *et al.*, 2014). All these initiatives contributed to an increase in energy efficiency and a decrease in energy intensity in the industrial sector of the Zhejiang region (Wang *et al.*, 2012).

3.3. Ulsan metropolitan area (South Korea)

A summary of trends in the Ulsan metropolitan area in terms of socio-ecological considerations from pre-1960 to post-2000 is presented in Table 12.

| | Regime 1 Until 1960s | Transition 1960s-mid 1990s | Regime 2 From mid 1990s to 2010 | Transition 2010-... |
|---------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|--|
| Primary energy supply or origin | Mainly biomass based metabolism | Change toward fossil fuel energy | Fossil fuel based metabolism | Change toward local energy and renewable energy |

| | | | | |
|------------------------------|---|---|---|--|
| Land cover, land use | Polarization toward Ulsan historic port city | Transition toward a polycentric development of industrial areas (Mipo, Onsan) | Polycentrism in industry | Transition toward metropolization |
| Time use | Port-based traditional activities (fishing port and market center) | Increase of refinery capacity Development of heavy industry | Fossil fuel based industry | Fossil fuel based industry Development of green industry (EIP) |
| Local governance | Port city development led by local authorities | National and local governance of port areas | National and local governance of port areas | National and local governance of Ulsan Metropolitan area (Ulsan Eco-polis) |
| Global traffic trends | Local importations Traffic with the neighboring countries (Japan, Russia) | Exponential growth of total traffic and hydrocarbon traffic | | Vulnerability and adaptability to post fossil fuel society |

Table 12 – Socio-ecological regimes and transitions in Ulsan metropolitan area

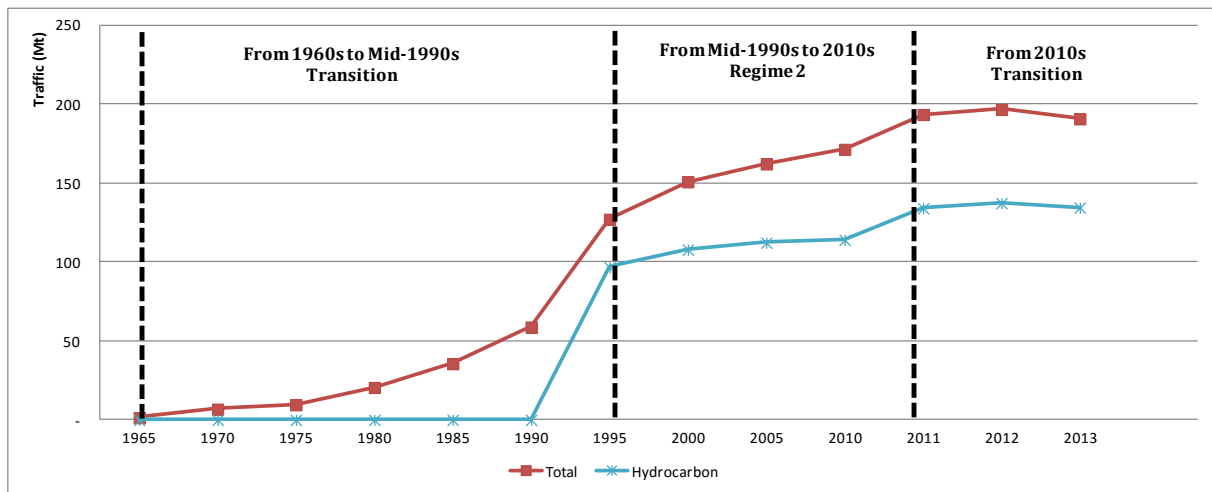


Figure 22 – Total traffic and hydrocarbon traffic in Ulsan

Ulsan port was opened with the port opening policy of the Chosun Dynasty in 1426 at the request of the governor of Tsushima, Japan. The population of the Ulsan area grew from slowly 145,904 in 1930 to 206,857 in 1960 (Ulsan metropolitan area, Statistics Korea, 2013). The residents were mainly dependent on agriculture and fishing for their livelihoods. Whale hunting was a famous traditional business. Although, during the colonial period, Ulsan port had expanded and developed for military and trade activities, Ulsan maintained a general fishing port and local market until the 1950s with no government support to develop the port area. Strong interactions were historically established between port traffic, trade, industry, and the city.

A breakthrough in Korean industry occurred in the 1960s. To strengthen the economy, the Economic Planning Board (EPB) designed a six cycle 5-year economic development plan. Initially, the national government was mainly focusing on coastal areas, which explains why Ulsan was officially granted the status of a city by the national government and selected as a special industrial complex in 1962. The same year, Ulsan port was designated as a trading port in accordance with the first economic plan. Exponential growth in industrial activities took place in the port area, and various major industries were established at that time. SK oil refinery, Korean Fertilizer Company, Hyundai Motor Company, Hyundai Heavy Industry, and S-oil refinery were established in 1962, 1967, 1972, and 1976 respectively. A rapid growth in the amount of marine traffic was observed due to the major industrialization. In 1963, total traffic was hardly 1 million tons, while in 1992, imports and exports to/from Ulsan Metropolitan City totaled \$21 million. In

the 1970s, Ulsan and Mipo ports were included in order to meet the increased import/export activities, which led to a polycentric development of industrial and urban activity, disconnecting port industrial activities from the traditional harbor. In 1970, Community Movement started in response to the gap between rural and urban areas. The population of Ulsan increased dramatically from 206,857 in 1960 to 418,326 in 1980. The industrialization led to an increase in employment in this area. In 1963, there were 948 employees/workers in the manufacturing sector, while it exceeded 74,000 workers by 1989 (Dong-ho Shinn, 1994). To deal with regional disparity, the Korean research institute initiated a ten year (1972-1981) land use plan. In the 1970s, these national level policies were adapted in order to cope with the changing conditions (Dong-ho Shinn, 1994). From 1962 to 1973, there was a structural change in the energy mix : the share of oil in the South Korean energy mix increased from 19% to 54%. On the other hand, the share of coal and firewood decreased from 87% to 42%. From 1970 to 1979, oil consumption increased from 63 to 163 million barrels. This increase was due to the development of heavy and chemical industries, in which a shift occurred from coal to oil for energy. The two global oil shocks affected the Korean economy negatively, and the country suffered from an acute shortage of energy. To diversify the energy supply and energy sources, the government enacted a "Rational Energy Utilization Act" in 1979. In 1986, oil import sources increased to 21 countries, versus 7 in 1981. Since South Korea has few natural resources, dependence to oil imports raised from 88% in 1990 to 99% in 2000 (Park *et al.*, 2008). From the 1980s to the early 2000s, energy consumption increased at a rate of 8.6 per annum versus 4.5% between 1980 and 1985. The growth of total maritime traffic continued, reaching 21 million tons in 1980, and 123 million tons in 1995.

In the mid-1990s, changes in the Ulsan port city area confirmed these major trends, which stabilized in a regime characterized by a dependency on overseas oil, and the polycentric development of the port industrial area. The Ulsan District consists of two National industrial complexes, Ulsan Mipo National Industrial Complex, and Onsan National Industrial Complex. The development of heavy industry and petrochemical plants in the 1970s created worse environmental conditions in Ulsan. In the 1990s, a waste reduction strategy rather than waste treatment was adopted, and different measures were taken. In 1992, a producer deposit-refund system established a strategy based on incentives for industries to reduce their waste at the source. The "Waste Charge System" introduced in 1993 aimed to reduce waste generation by imposing charges on products that were hard to recycle or that contained hazardous chemicals. In 1995, the Act to Promote Environmentally Friendly Industrial Structure resulted in the institutional system for cleaner production. An IS network has gradually emerged since the mid-1990s (Park *et al.*, 2008). The discharge of pollutants has been partially reduced, and financial resources have been raised by taking these actions. Due to the measures adopted by the city government, environmental conditions in Ulsan have improved considerably since the mid-1990s, as several environmental indicators demonstrate (Kwon Changki, 2003).

This second regime, characterized by growing environmental awareness, prefigured the still on-going transition that followed. A major indicator of this transition concerns energy. Since Korea is mainly dependent on imported fuels for energy production, the government focuses on the efficient use of energy and raw materials. In the case of Ulsan, primary energy consumption in 1998 was 15,180 Ktoe and increased to 24,595 Ktoe in 2011. While primary energy production was 516 and 720 Ktoe in 2004 and 2011 (Year book of regional energy statistics, 2012). Energy production is mainly from liquefied natural gas (LNG) and renewable sources. Different strategies have been employed by the national and regional government in order to use the energy efficiently and move toward low-carbon green energy. In 2000, waste to energy and material recycling based on IE was adapted to achieve eco-friendly development. The Korean government initiated a 15-year eco-industrial park initiative in 2005 (Park and Won, 2007). The Ulsan industrial park was selected as one of the six industrial complexes accepted for this EIP project. The objective is to achieve low-carbon green growth through the efficient use of energy and raw materials (Park, 2011). 27 symbiotic network projects were completed by 2013, in which 48% of the IS networks were linked to energy issues (Park, 2013). An investment of \$115.4 million was estimated to result in economic benefits of \$107.9 million per year. There has been a total reduction of 451,000 tons of CO₂ and 4,052 tons of air pollution per year thanks to these 27 networks (Park, 2013). The National Low Carbon Green Growth Vision, Ulsan Eco-Industrial Park, and Ulsan Eco-Polis, along with other local and national level strategies are helping to transform the Ulsan metropolitan area into a socio-ecological region where environment, industry, businesses, and human beings can co-exist.

3.4. Discussion

3.4.1. Time frames of trends in port cities and the impact of globalization

To a certain extent, the trends are similar in the three port cities considered in this study. Their first regime corresponds to that of a “primitive port city” (Hoyle, 1989), which is characterized by a polarization of traditional activities (fishery, agriculture, and port-based traditional activities) and flows toward the historical harbor, mainly based on coal and biomass energy. The end of this historical regime is marked by a profound transition due to the opening of these port cities, *de jure* or *de facto*, to global trends such as the growth of international maritime traffic and the beginning of the oil-based globalized economy. The time frame of this major transition depends on the capacity of the port-city system to resist or to adapt to these global changes (Figure 23). In France, and in Marseille in particular, coal use peaked in the first decades of the 1900s, and the adaptation toward more efficient forms of energy such as oil occurred during the First World War. In Ulsan port city, in South Korea, the industrialization of the 1960s, following the independence of South Korea at the end of the Second World War, stemmed from the development of major oil refineries. The Chinese transition away from coal occurred in the mid-1990s, as a consequence of the opening up program of 1978 (Thomson, 2003).

These trends are consistent with analysis of Young *et al.* (2006) on the impact of globalization on socio-ecological systems. Globalization, as an ensemble of interacting changes in socio-ecological systems, induces changes by intensifying and multiplying links and extending activities to the global scale. This first transition is characterized by an exponential growth in total traffic. In Marseille, while the total traffic in 1950 was less than 10 million tons, it exceeded 55 million tons in 1965. In parallel, major port-related companies were absorbed by multinationals. In Ningbo, total traffic was around 25 million tons in 1990, and exceeded 400 million tons in 2010. This increase was accompanied by the development of port industrial zones open to foreign investment needed to build major infrastructure there.

For Marseille and Ulsan, this transitional period was followed by a second regime characterized by the oil-based metabolism of port cities, disconnected from local resources, and a polycentricity that drove away port industrial areas from the historical urban center. Although very dependent on fossil fuel resources, this socio-ecological regime appeared to be robust and adaptable to the oil shocks of 1973 and 1979. For Anderies *et al.* (2004), robustness refers to the structural properties of a system that allow it to withstand the influence of disturbances without changing structure and dynamics. In France, this robustness is characterized by a governmental decision to reduce refining capacities as well as reconversion operations to reduce energy consumption. In South Korea, the government enacted the Rational Energy Utilization Act in 1979. The end of this second regime is characterized by the collective awareness of global environmental changes, including global climate change and global resource scarcity.

The fuel-based port city regime is clearly called into question by the global scale at which biophysical changes are taking place. As Young *et al.* (2006) argue, globalization can pose severe challenges to the resilience and adaptability of socio-ecological systems, as well as to society’s capacity to handle the growing vulnerability. For instance, Marseille is now facing the consequences of the global trend in the raw material market, especially oil and steel. The loss in hydrocarbon traffic, closing of refineries, and problems in the steel industry appears to be converging and concomitant signals. Facing a situation in which the robustness of its infrastructure does not seem to be able to maintain the existing socio-ecological system, the Marseille area is starting to become aware of its vulnerability and adapt structurally. In Ulsan, since Korea is mainly dependent on imported fuels for energy production, strategies are also being developed in order to achieve low carbon green growth by efficient use of energy and raw materials. A shared strategy is to move toward energy autonomy by means of a closer connection with local energy sources and better energy use.

The last effect of globalization on port-city socio-ecological trends is the increasing speed of global interactions, processes, and changes. To paraphrase Young *et al.* (2006), the pace of change is accelerating. For Marseille, which is the first city in our study that went down this pathway, its transition from a “primitive port city” (Hoyle, 1989) to an oil-based port industrial complex disconnected from local energy sources and the local urban center, took more than 40 years. Thirty years later, Ulsan started a similar transition, which lasted only 30 years. Ulsan’s second regime also covers a shorter period that makes it difficult to distinguish transition from regime. Ningbo also appears to be a particularly relevant illustration of how time is accelerating. Integrated late into the process of globalization, Ningbo’s transition strategy has had to cope simultaneously with all the economic, environmental and societal impacts of globalization because of its opening up to global oil-based economy. Unlike Ulsan and Marseille,

Ningbo’s second regime appears more like a temporary stage than a stabilized regime, and is juggling with both an out-of-coal transition and a turn toward renewable and local energy. For Young *et al.* (2006), this increasing speed of response to stressors, threats, and opportunities can enhance resilience and adaptive capacity and reduce vulnerability. It opens up the possibility of moving in a new direction quickly and relatively painlessly.

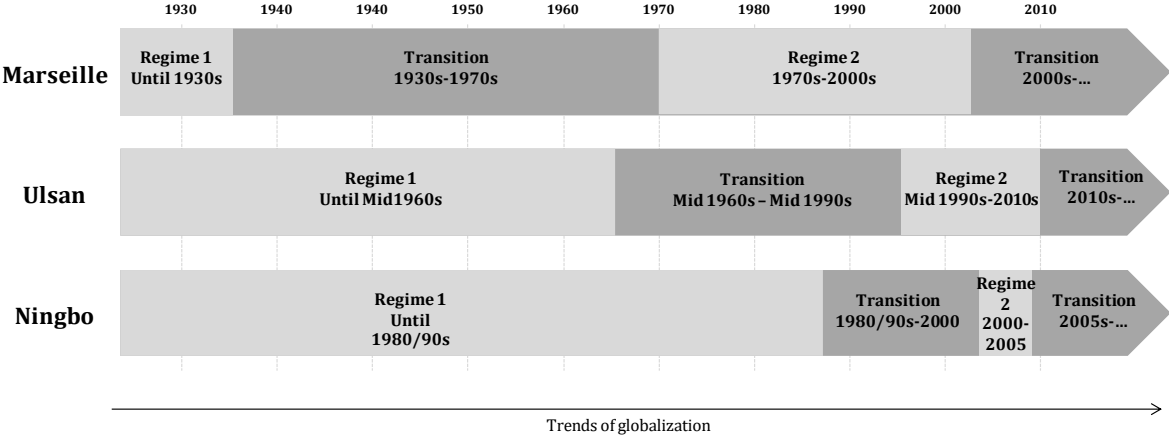


Figure 23 – Comparison of time frames of trends in each port city

3.4.2. Socio-ecological transitions and port-city interactions

Ports have long been defined as gateways linking a home region to the rest of the world via international transport (Bird, 1983). As nodes in a global transport network, the functions of ports have generally been considered to be exogenous and eccentric to the local context (Bird, 1983). In major European seaports, port functions have been dissociated from city functions. This functional disconnection has resulted in spatial disconnection with the development of huge industrial port complexes, through which the port functions have migrated outside the city, toward peripheral urban areas or greenfield sites (Hoyle, 1989). Marseille is emblematic of trend, with the creation of the Fos port industrial complex in the 1960s (Figure 24). Thirty years later, for safety reasons, Ningbo seems to be following the same trend in its spatial development with a voluntary and growing disconnection and specialization of the port and the city. However, this trend must be better defined. Lee *et al.* (2008) describe the various phases in the evolution of Western and Asian port-city interfaces since ancient medieval times. Based on these changes, they contrast two extremes in terms of port-city relationships. On the one hand, a 1/ “general port city” model, where the port has been separated from the city and, on the other hand, a 2/ “global hub port city” where the port development has been integrated into the urban area. Since the 2000s, Marseille and Ulsan have been involved in a context of metropolization that fosters new forms of cooperation between port and city at a broader scale of decision making and action, questioning in particular the local energy metabolism.

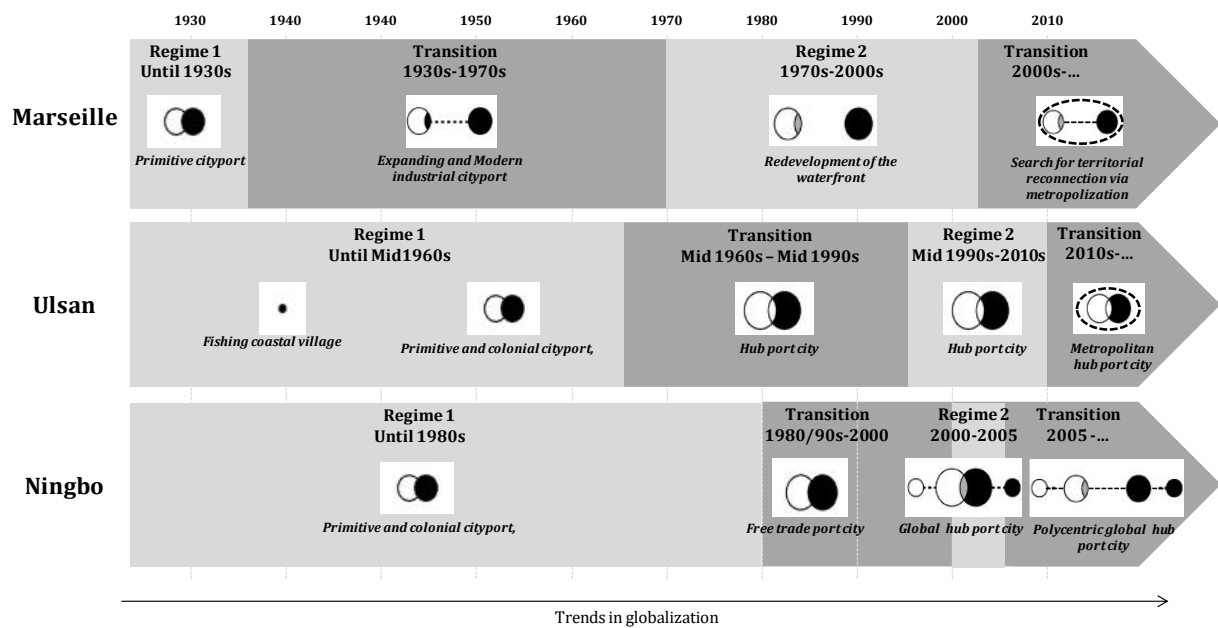


Figure 24 – Port city interactions and trends in globalization (based on and adapted from Lee *et al.*, 2008)

3.4.3. Innovative regional eco-industrial development trajectories toward low-carbon regimes

The three case studies considered in this article provide insights into the socio-ecological trajectories of port cities toward low-carbon regimes. First, adaptation processes toward local and renewable energy do not seem to imply a change in terms of infrastructure, but a change in terms of primary sources of energy. In Marseille, the infrastructure (terminal, plant, pipelines, etc.) of the LNG terminal built by GDF Suez was made adaptable so it would have the capacity to also manage 50% of biogas coming from the new methanation plant by 2030. The energy IS network developing in the Ulsan eco-park also aims to replace primary energy sources (oil, LNG) by local energy sources by means of interconnections between existing infrastructure. For instance, the Hankuk paper mill only relies on energy from an industrial symbiosis with LS-Nikko Corp. for its 150 tons/hour of steam. Similar to ecosystems, this trend is characteristic of a maturation dynamics (Clements, 1916, 1936): in a juvenile stage, fossil energy, such as coal and oil, were used to feed the exponential growth of port-city systems. In a mature stage, fossil energy is being replaced by renewable energy and densification of energy interactions between the system components, in order to maintain the port-city system in a stable state.

This change in primary energy sources presupposes the growing integration and functional complexity of port-city socio-ecological systems. Whereas a fossil based system is mainly supplied by oil or gas fields owned by big companies, the exploitation of local and renewable energy sources relies on the involvement of a widespread and diversified panel of local stakeholders and activities (industries, agriculture, and urban services). Thus, this trend toward complexity involves growing connectedness between local port-city components: for instance, the eco-industrial chain network in Ningbo Chemical Industry zone forms a symbiotic system based on flow exchanges including basic chemical raw material products, energy, waste water, steam, and hydrogen (Wang *et al.*, 2008). In Ulsan metropolis, 27 industrial symbioses have been identified, 13 of which concern energy issues. This complexity dynamic also implies growing functional diversity in these network components. Flow exchanges occur between companies, such as GDF Suez and Air Liquide in the Marseille port area, or the Ningbo steel industry and Linde Gas through Ningbo's network infrastructure. They also connect port-related companies with urban and agricultural activities. For instance, in Ningbo, the heat network supplied by the Beilun Power plant and Ningbo steel, meets industrial as well as urban and agricultural energy needs. In Ulsan, SK energy provides heat to industries and is planning to supply heat to urban districts. Moreover, local resources such as manure from pig farms and urban sludge, feed a co-digester to produce methane and steam by combustion, in order to supply industries like the Hankuk Paper Company. The study of low carbon transitions thus involves going further the analysis of the sole isolated industrial system by taking into account an open system designed by the interactions occurring between subsystems, such as industrial, agricultural and urban subsystems

taken into consideration in our study. In such complex systems, interactions between subsystems are densified and enable the use of new opportunities in an enlarged perimeter. A low carbon optimum is not reached within one process, or one activity. Carbon reductions are performed at the interface between industrial, agricultural and urban activities. For instance, a city can better reach sustainability by considering industrial opportunities of energy optimization (Olazabal, 2012; Chelleri *et al*, 2012; Geels, 2011) and new cooperation between the local stakeholders (Frantzeskaki, 2013) ; an industrial area can perform a transition toward low carbon by considering the potential interactions with neighboring agricultural and urban areas.

Bale *et al.* (2015) described how the theory and tools of complexity science could be used to better understand the complex decision-making processes that are needed to promote a transition to a low-carbon, secure and affordable energy system. To achieve these objectives, a systemic approach like industrial ecology is required to establish a relationship between low-carbon transition, urban sustainability, agricultural and industrial sustainability, in order to describe for each one what are the current model of consumption and production of energy. The characterization of flow metabolism, through MFA for instance (Mat et Gonzalez-Roof, 2012), allows distinguishing the use of net primary energy and final energy by sector (industry, agriculture, residential, etc.) and thus to quantify the economic and structural effect of consumption and production developments and future performance of each sector. Through its systemic approach, industrial ecology enables to consider a complex system that goes further the sole industrial system by considering urban and agricultural subsystems. It allows identifying some relevant synergies between these sectors and to implement new models of development, more collaborative and more complex.

3.4.4. Efficiency and effectiveness of port city development trajectories toward low carbon development.

Many questions remain and call for further research concerning the socioecological trajectories of port cities toward low carbon development. Among these research issues, one concerns the relative weight of the different socioecological criteria in the succession of the different regimes and transitions: what are the aspects (global traffic trends, energy, land use, time use, etc.) that influence the port city socioecological trajectories? Are these influencing factors similar from an area to another? For instance, Su *et al.* (2012) characterized the effects of limitation or acceleration of economic, social or energy factors on urban low-carbon development. It would be relevant to study the interactions that occur between these socioecological criteria to enhance the knowledge of the trigger elements toward a socioecological transition. Another aspect to be considered in these interactions between socioecological criteria is the retroaction loops and the impact transfers than can occur within a port city ecosystem or with other areas. Among these retroactions, the rebound effect could provide a relevant highlight on the effectiveness and the time pace of low carbon transition: the direct rebound effect can provide explanations to the offset of the reduction in energy consumption provided by the efficiency improvement (Sorrell and Dimitripoulos, 2008).

For instance, the increase in the share of renewable energy is not necessarily followed by an overall reduction in energy consumption, especially of fossil energy. The case of Marseille-Fos appears as a relevant example, as the level of energy consumption in the Etang de Berre area (12.9 Mtep), the main industrial district in the metropolitan area, is well above and even disproportionate in regard to the current local energy production (1.4 Mtep) (MIPPM, 2013). It appears difficult to reach local energy autonomy at a short or even middle term. The objective is thus to enable a gradual convergence of local energy production and local energy demand. However, in order to reduce the overall level of carbon emissions, it will not be enough to reduce energy consumption and to substitute fossil energy supply by renewable sources in the residual energy consumption. It would be appropriate also to better control the processes in order to meet the capacity and time scales of local production. All industrial processes are not affected in the same way by the temporal discontinuity of energy supply, leaving interesting opportunities for using renewable and local energy. A first step consist in the identification of storage capacities and of consumption items that do not require continuous energy inputs as, for instance, heating urban network whose inertia allows to vary supply sources and times. Beyond these first efforts, it would be interesting to better target and distinguish processes that are likely to support power interruptions during energy consumption peaks or low renewable energy production periods for instance. This global management of local activities is at the heart of works on Smart Grids. In Marseille, current experimentations lead to the development of Smart Grids, in order to smooth and match production and consumption periods on the

basis of storage techniques such as flywheels, hydraulic storage, methane and H₂ production, or heating systems. Their implementation is expected to allow a better articulation of domestic supply networks as well as external supply networks (Moine, 2013).

Conclusion

This article provides insights on change and adaptation processes toward a low-carbon future in industrial port areas in Asia and in Europe, especially through three case studies (Marseille-Fos in France, Ningbo in China, and Ulsan in South Korea). We conceptualize the historical socio-ecological transition of industrial port cities as a stepwise process of spatial and functional disconnection of port industrial complexes, decoupling the port city metabolism from local resources. We discuss the results of this analysis within the IE framework. The three case studies provide examples of different phases of trends in port industrial systems from the juvenile to the mature phase. The juvenile phase of industrial port areas is characterized by exponential growth in port activity, which leads to a spatial and functional disconnection of port industrial complexes and a strong dependency on exogenous fossil energy. The transition toward a mature phase can be characterized by a slowdown of port exchanges' increase, a diversification of activities, and an intensification of flow exchanges within the port industrial area, and later between the port industrial area and urban and agricultural activities. We highlight the impacts of globalization on port-city socio-ecological trends, highlighting the effects of the integration of port cities in global economic trends, the impact of global awareness on global environmental changes, and the accelerating pace of change. We compare innovative regional eco-industrial strategies, revealing similarities in terms of conversion toward local low carbon sources and growing connectedness and functional diversity of port-industrial systems.

Can we see in these observations the signs of how port cities evolve toward greater resilience? Demographic trends and GDP growth should increase global energy demand in coastal areas and port cities. Energy efficiency policies in cities through building insulation or renewable energy promotion, in industries through technological development and in agriculture through the evolution of farming practices and related fertilization modes, should offset, in part, this upward trend in energy consumption. In terms of production, industrial symbiosis and the intensive use of local low carbon and renewable energy sources, such as biomass, solar, wind or tidal, should increase and reach a larger relative share in the local production/consumption ratio. The increase in complexity, which is an increase in connectedness and diversity, may enhance the resilience of globalized port-city socio-ecological systems. It may also dilute and distribute the impact of strong changes in individual elements upon other elements in the system. On the other hand, an increase in the connectedness of the network can also lead to the destabilization of the system as a whole. An industrial ecosystem is less resistant and less resilient with high inter-firm dependency. In our case studies, industrial symbiosis networks mainly concern petrochemical activities. For instance, the Ulsan SK complex, which includes a refinery and a chemical complex, as well as Kumho petrochemical corporation are at the core of the energy symbiosis network. We must not overlook the fact that the dependency of a port-city system on fossil energy still questions its capacity to adapt to a low-carbon future. This socio-ecological approach calls for further investigations in different port cities, in Europe, Asia, and other continents, in order to compare port-city socio-ecological trajectories, confirm the findings reported in this article, and uncover other post-carbon strategies that could enhance resilience in port cities.

References

- Anderies, J.M., Janssen, M.A., Ostrom, E., 2004. A framework to analyze the robustness of socio-ecological systems from an institutional perspective. *Ecol. Soc.* 9 (1), 18.
- Bale, S.E.C, Varga, L., Foxon, T.J, 2015. Energy and complexity: New ways forward. *Appl. Energ.* 138, 150–159
- Bird, J., 1983. Gateways: slow recognition but irresistible rise. *Tijdschr. Econ. Soc. Geogr.* 74 (3), 196e202
- Boons, F., Baas, L., 1997. Types of IE: the problem of coordination. *J. Clean. Prod.* 5 (2), 79-86.

- Borruey, R., 1998. Le port moderne de Marseille, du dock au conteneur (1844-1974), tome IX. Histoire du Commerce et de l'Industrie à Marseille. Chambre de Commerce et d'Industrie Marseille-Provence.
- Cerceau, J., Mat, N., Junqua, G., Lin, L., Laforest, V., Gonzalez, C., 2014. Implementing industrial ecology in port cities : international overview of case studies and cross-case analysis. *J. Clean. Prod.* 74, 1-16.
- Chelleri, L., Olazabal, M., Kunath, A., Minucci, G., Waters, J.J., Yumalogava, L., 2012. Multidisciplinary perspectives on urban resilience. Workshop Report. 1st edition. Basque Centre for Climate Change
- Chen, S.Q., Chen, B., Fath, B.D., 2014. Urban ecosystem modeling and global change: Potential for rational urban management and emissions mitigation. *Environ. Pollut.* 190,139-149.
- Chertow, M.R., 2000. Industrial symbiosis. Literature and taxonomy. *Annu. Rev. Energy Environ.* 25, 313-337.
- Clements, F.E., 1916, *Plant Succession*, Carnegie Institute Washington Publication, 242, Washington, DC Connell.
- Clements, F.E., 1936, Nature and structure of the climax, *J. Ecol.* 24, p.252-284.
- Dong-ho Shinn, 1994., The impact of industrialization on the quality of life in Korea: Case studies of Ulsan and Kyungju. PhD thesis. The University of British Columbia.
- Ducruet, C., 2009. Port regions and globalization. In Notteboom, T.E., Ducruet, C., De Langen, P.W., *Ports in proximity: competition and coordination among adjacent seaports*, Aldershot, Ashgate, 41-53.
- Fellmann, T., Morel, B., 1989. Les effets de polarization sur la métropole marseillaise: mobilité économique, concurrence, complémentarité, Plan Urbain.
- Feng, Y.Y., et al., 2013. System dynamics modeling for urban energy consumption and CO₂ emissions: A case study of Beijing, China. *Ecol. Model.* 252, 44-52.
- Foley, J.A., Defries, R., Asner, G.P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S.R., Chapin, F.S., Coe, M.T., Daily, G.C., Gibbs, H.K., Helkowski, J.H., Holloway, T., Howard, E.A., Kucharik, C.J., Monfreda, C., Patz, J.A., Prentice, I.C., Ramankutty, N., Snyder, P.K. 2005. Global consequences of land use. *Sci.* 309 (5734), 570-574.
- Frantzeskaki, N., Wittmayer, J., Loorbach, D., 2013. The role of partnerships in 'realising' urban sustainability in Rotterdam's City Ports Area, The Netherlands. *J. Clean. Prod.* 65, 406-417.
- Garnier, J., Zimmermann, J-B, 2006. L'Aire Métropolitaine Marseillaise et les territoires de l'industrie. *Geogr. Econ. Soc.* 2 (8), 215-238.
- Geels, F.W., 2011. The multi-level perspective on sustainability transitions: Responses to seven criticisms. *Environ. Innov. and Soc. Transit.* 1. 24-40
- Georgelin, J., 1991. Marseille: ville portuaire d'hier à aujourd'hui. In *Méditerranée*, tome 73, 97-101.
- Grimm, N.B. *et al.*, 2008. Global change and the ecology of cities. *Sci.* 319, 756-760.
- Haberl, H., V. Winiwarter, K. Andersson, R. U. Ayres, C. Boone, A. Castillo, G. Cunfer, M. Fischer-Kowalski, W. R. Freudenburg, E. Furman, R. Kaufmann, F. Krausmann, E. Langthaler, H. Lotze-Campen, M. Mirtl, C. L. Redman, A. Reenberg, A. Wardell, B. Warr, and H. Zechmeister 2006. From LTER to LTSER: conceptualizing the socioeconomic dimension of long-term socioecological research. *Ecol. Soc.* 11(2): 13. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol11/iss2/art13>

Hoffmann J., Kumar, S., 2010. Globalization – the maritime nexus. In Grammenos, C. T., *The Handbook of Maritime Economics and Business*, 2nd edition, Lloyd's list, 35-64

Hoyle, B.S., 1989. The port-city interface: trends, problems and examples. *Geoforum* 20 (4), 429e435.

IPCC, 2014. *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Edited by Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Jung, B-M, 2011. Economic contribution of ports to the local economies in Korea. *Asian J. Shipp. Logist.* 21 (1), 1-30.

Kinsey, J., 1978. The application of growth pole theory in the Aire Métropolitain Marseillaise. *Geoforum*, 9, 245-267.

Krausmann, F., Schandl, H., Siefert, R. P., 2008. Socio-ecological regime transitions in Austria and the United Kingdom. *Ecol. Econ.* 65, 187-201.

Krausmann, F., Fischer-Kowalski, M., 2013. Global socio-metabolic transition. In Singh, S.J., Haberl, H., Chertow, M., Mirtl, M., Schmid, M. (ed), *Long-term socio-ecological research. Studies in society-nature interactions across spatial and temporal scale*. Springer, New York London.

Kwon Changki, Lee Sang Hyun, 2003, *The Experience of Industrial Relocation in Korean Cities with special reference on Ulsan Metropolitan City*, Proceedings of Kitakyushu Initiative Seminar on Industrial Relocation

Lee, S.W., Dong-Woo, S., Ducruet, C., 2008. A tale of Asia's world ports: the spatial evolution in global hub port cities. *Geoforum* 39, 372e385.

Liu, X., 1995. Integrating the industrial complex into the port: Chinese developments with respect to the metallurgical sector. Thesis submitted in University of Manitoba. February, 1995.

Lo and Song, 1992. *China's coastal cities*. Honolulu. University Hawaii Press.

Mat, N., Gonzalez-Roof, A., 2012. Urban metabolism of marseille provence metropole. An overview of material and energy flows on Marseille Provence Metropole through different methodologies of mass and financial balance. 1st. report. Ecotech Sudoe Project.

Merk., O. 2011. The competitiveness of global port-cities: synthesis report. OECD. URL: <http://www.oecd.org/gov/regional-policy/Competitiveness-of-Global-Port-Cities-Synthesis-Report.pdf>

MIPPM, 2013. *La métropole en marche : les chantiers du projet d'Aix-Marseille-Provence*. Document de convergence stratégique 2.

Moine, H., Giraud, J., 2013. *Ecologie industrielle et transition énergétique au sein du Grand Port Maritime de Marseille*. Voyage d'étude AIVP à Marseille. 17 octobre 2013

Nayef R.F. Al-Rodhan and Stoudmann G., *Definitions of Globalization: A Comprehensive Overview and A Proposed Definition*, Geneva Centre for Security Policy, 2006, URL: <http://www.gcsp.ch/e/publications/Globalisation/index.htm>.

Ningbo and Beilun statistical yearbook, 2013, 2011, 2006, 2001, 1996. Available online <http://tongji.cnki.net/overseas/engnavi/YearBook.aspx?id=N2011030071&floor=1>.

OECD, 2009. Sustainable manufacturing and eco-innovation. Framework, practices and measurement. Synthesis report.

Ohl, C., Krauze, K., Grünbühel, C., 2007. Towards an understanding of long-term ecosystem dynamics by merging socio-economic and environmental research. Criteria for long-term socio-ecological research sites selection. *Ecol. Econ.* 63, 383-391.

Olazabal, M., Pascual, U., 2012. Postulates of urban resilient sustainability transitions: a cross-disciplinary approach. Paper submitted to ISEE 2012 Conference - Ecological Economics and Rio+20: Challenges and Contributions for a Green Economy. Submission date: November 22, 2011.

Ostrom, E., 2009. A general Framework for analyzing sustainability of socio-ecological systems. *Sci.* 235, 419-422.

Park H.-S., Won J.-Y., 2007. Ulsan Eco-industrial Park : Challenges and opportunities. *J. Ind. Ecol.* 11 (3), 11-13.

Park H.-S. *et al.*, 2008., Strategies for sustainable development of industrial park in Ulsan, South Korea. From spontaneous evolution to systematic expansion of industrial symbiosis. *J. Environ. Manag.* 87, 1.13.

Park H.-S., 2011. Korean Green innovations through Ulsan EIP initiative. 7th Asia-pacific Eco-business Forum Kawasaki, Japan

Park, H.-S., 2013. Ulsan Ecopolis and Eco-Industrial Parks Challenges towards Sustainability - A case in Progress. Presentation in Ecoforum on "Pathway to I-EA-T Eco Industrial Town" 12 Dec., Bangkok, Thailand.

Redman, C. L., J. M. Grove, and L. H. Kuby. 2004. Integrating social science into the long-term ecological research (LTER) network: social dimensions of ecological change and ecological dimensions of social change. *Ecosystems* 7:161-171.

Ricard, G., 1979. Marseille-sur-Fos ou la conquête de l'ouest. Histoire de l'industrie de Marseille, tome III. Chambre de Commerce et d'Industrie de Marseille.

Roncayolo M. (1963), *Marseille*, Notes et Études Documentaires, La Documentation Française.

Schandl, H., Fischer-Kowalski, M., Grunbihel, C., Krausmann, F., 2009. Socio-metabolic transition in developing Asia. *Technol. Forecast. Soc. Chang.* 76, 267-281.

Seto, K. C, Güneralp, B., Hutyra, L. R., 2012. Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109, 16083-16088.

Sorrell, S., Dimitropoulos, J., 2008. The rebound effect: Microeconomic definitions, limitations and extensions. *Ecol. Econ.* 65: 636-649.

Su, M.R., et al., 2012. Low-carbon Development Patterns: Observations of Typical Chinese Cities. *Energ.* 5, 291-304.

Thomson, E., 2003. The Chinese Coal Industry: an Economic History. United Kingdom, London: RoutledgeCurzon

Ulsan Metropolis, Statistics Korea, 2013. Available online: http://english.ulsan.go.kr/common/Index.do?method=init&func=select&PGM_GBN=index

UNCTAD, 2011. Review of maritime transport. United Nations, New York and Geneva. URL: http://unctad.org/en/docs/rmt2011_en.pdf

- Vallega, A., 2001. Urban waterfront facing integrated coastal management. *Ocean Coast. Manag.* 44, 379-410.
- Verburg, P.H., van de Steeg, J., Veldkamp, A., Willemen, L., 2009. From land cover change to land function dynamics: a major challenge to improve land characterization. *J. Environ. Manag.* 90, 1327-1335
- Vinzent, J., 2014. Un choc pétrolier affecte le port de Marseille-Fos. *Marsactu.*
- Wang, Z., Yang, L., 2015. Delinking indicators on regional industry development and carbon emissions: Beijing-Tianjin-Hebei economic band case, *Ecol. Indic.*, 48(2015), pp41-48.
- Wang, Z., Feng, C., Zhang, B., 2014. An empirical analysis of China's energy efficiency from both static and dynamic perspectives, *Energ.*, 74, pp322-330.
- Wang, Z., Wang, C., Yin, J., 2013. Strategies for addressing climate change on the industrial level: affecting factors to CO2 emissions of energy intensive industries in China, *Nat. Hazards.*
- Wang, Z., Yin, F., Zhang, Y., Zhang, X., 2012. An Empirical Research on the Influencing Factors of Regional CO2 Emission: Evidence from Beijing City, China, *Appl. Energ.*, 107, pp451-463.
- Wang, Z., Zeng, H., Wei, Y., Zhang, Y., 2012. Regional total factor energy efficiency: An empirical analysis of industrial sector in China, *Appl. Energ.*, 97, pp115-123.
- Wang *et al*, 2008. Framework of Eco-industrial Park Development Based on Circular Economy: A Case Study of Ningbo Chemical Industry Zone. *Sci. Geogr. Sin.*
- Wolkowitsch, M., 1991. Les industries de l'aire métropolitaine marseillaise en 1989 et leur avenir. *Méditerranée*, tome 73, 21-38.
- Young, O.R., Berkhout, F., Gallopin, G.C., Janssen, M.A., Ostrom, E., van der Leeuw, S., 2006. The globalization of socio-ecological systems an agenda for scientific research. *Glob. Environ. Chang.* 16, 304-316.
- Zhang, Z.X., 2003. Why did the energy intensity fall in China's industrial sector in the 1990s? The relative importance of structural change and intensity change. *Energ. Econ.* 25: 625-38.


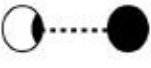


2.3. Vers une plus grande interaction fonctionnelle par la mise en œuvre de dynamiques territoriales d'écologie industrielle au sein de territoires recomposés

2.3.1. Une lecture des trajectoires socio-écologiques à travers les interactions fonctionnelles

L'analyse croisée des trajectoires socio-écologiques de chacun des trois territoires d'études a permis de constater une trajectoire de déconnexion/reconnexion successives entre Ville et Port, et donc différents niveaux de coopération entre sous-systèmes (ville, industrie, agriculture) sur les aspects de gestion des ressources et sur les enjeux énergétiques notamment. Les trois territoires d'étude ont chacun connu ces cent dernières années, de manière plus ou moins rapide, une évolution marquée par l'enchaînement entre des régimes (1 et 2), ponctués de périodes de transition.

Une nouvelle fois, ces évolutions peuvent être appréhendées (Tableau 4) par le cadre de la proximité (géographique et organisée) et par le niveau d'interaction entre les sous-systèmes, industriel et urbain en particulier.

Tableau 4 – Lecture des évolutions socio-écologiques par la proximité et par les interactions fonctionnelles

| | Régime 1 | Transition 1 | Régime 2 | Transition 2 |
|---|---|--|--|--|
| Proximités géographique, organisationnelle et institutionnelle | Le régime 1 se caractérise par une forte proximité spatiale et organisationnelle (l'industrie étant souvent imbriquée dans la ville)  | La première transition se caractérise par la perte de ces interactions du fait d'un éloignement géographique des unités de production industrielle vers des bassins extérieurs.  | Le régime 2 se caractérise par un fonctionnement séparé et cloisonné (polycentrique) des fonctions portuaire, urbaine et industrielle.  | La deuxième transition se caractérise par une redéfinition du périmètre du territoire industrialo-portuaire (métropolisation)  |
| Niveau d'interactions fonctionnelles | Cette configuration spatiale est marquée par de fortes interactions entre la ville et le port. | Ces nouvelles dispositions spatiales ont favorisé une spécialisation des espaces, entraînant une augmentation des performances (mono-activités) de chaque sous-systèmes, tout en se déconnectant des ressources locales (période du « tout-pétrole »). | | Cette reconfiguration spatiale et administrative tendrait à favoriser ou renouer des liens (échanges de flux physiques et informationnels) entre la ville, le port, l'industrie et l'agriculture. |

Le cas de Marseille illustre bien, par exemple, cette dynamique d'évolution constatée sur les trois territoires d'étude :

- Au niveau de la déconnexion spatiale : L'évolution spatiale et fonctionnelle du territoire industrialo-portuaire de Marseille est caractéristique d'un processus de déconnexion Port-

Ville, opéré progressivement sur une centaine d'années depuis la fin du 19^{ème} siècle. Ce processus est malgré tout non linéaire, et est marqué par différentes phases (Figure 25), depuis des formats d'extension plutôt à la marge (développement du front de la Joliette) jusqu'à des changements plus structurants avec la création ex nihilo de complexes chimiques, pétrochimiques et logistiques de grande taille sur le pourtour de l'Etang de Berre dans la première moitié du 20^{ème} siècle puis à Fos dans les années 60.

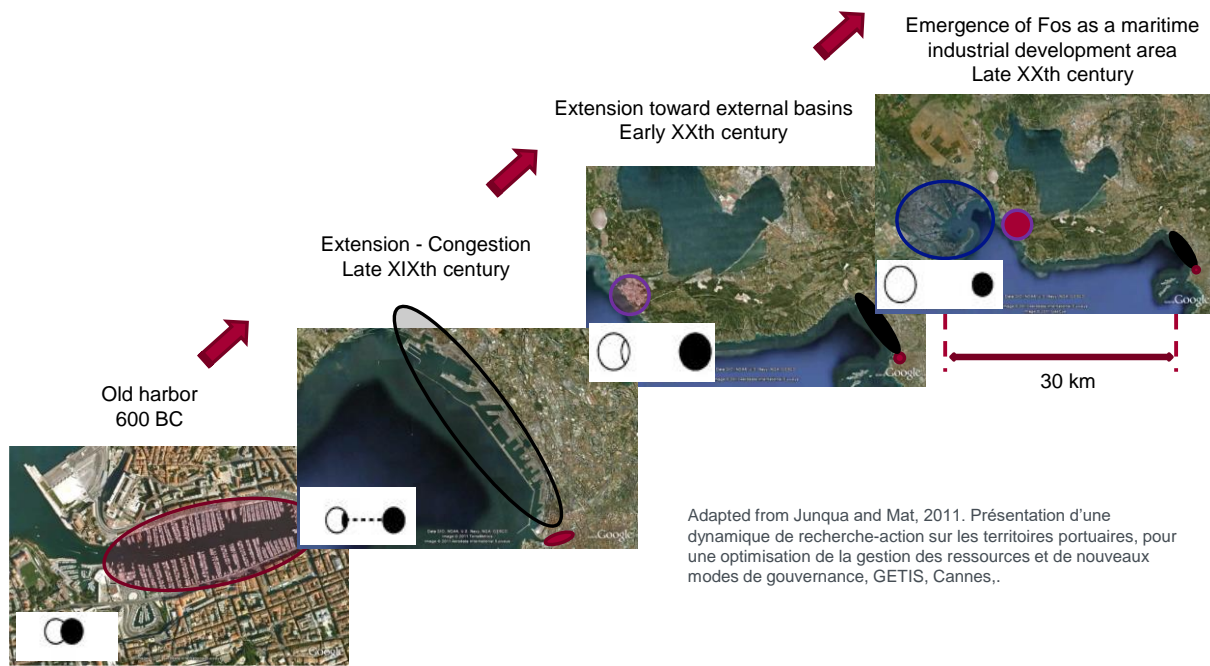


Figure 25 – Evolution spatiale de l'interface Port-Ville de Marseille (d'après Junqua et Mat, 2011)

- Au niveau de la déconnexion organisationnelle : les entreprises marseillaises étaient très connectées à la Ville (représentations de chefs d'entreprises au sein des élus, etc.) jusqu'au début du 20^{ème} siècle (Daumalin, 2013, 2014). Puis les effets cumulés de l'éloignement spatial (migrations des bassins industriels vers l'Etang de Berre et Fos) et de la mondialisation, ont progressivement contribué à désolidariser ces entreprises du seul développement local.
- Au niveau des conséquences sur les interactions fonctionnelles : Ces nouvelles dispositions spatiales ont favorisé une spécialisation des espaces, entraînant une augmentation des performances (mono-activités) mais entraînant aussi une plus grande vulnérabilité quant aux évolutions économiques. L'exemple du Grand Port Maritime de Marseille-Fos est à ce titre intéressant, s'étant bâti progressivement sur la gestion de flux d'hydrocarbures, et étant depuis quelques années gravement confronté à la baisse de ces flux (et donc des recettes liées).

De fait, tout à la fois résultant et à la base de tels niveaux de développement, ce territoire a progressivement vu ses sous-systèmes (urbaine et industrielle) croître et consommer de nouvelles emprises foncières généralement dévolues auparavant aux pratiques agricoles. C'est ainsi une place portuaire dont la composante industrielle et portuaire majeure s'est progressivement éloignée de la ville centre initiale pour former au cours des dernières décennies une complexe industrialo-portuaire multipolaire déconnectant très nettement le Port et la Ville, tout en consommant d'importantes surfaces agricoles ou naturelles, faisant apparaître des zones industrialo-portuaires spécialisées. C'est ainsi le cas à Marseille avec la montée en puissance industrielle à l'Ouest de Fos sur Mer, mais

également en Chine à Ningbo, avec l'émergence des complexes industrialo-portuaires de Beilun et Zenhai à l'Est (Figure 26), ou encore à Ulsan avec les zones de Mipo et Onsan sur le front de mer.

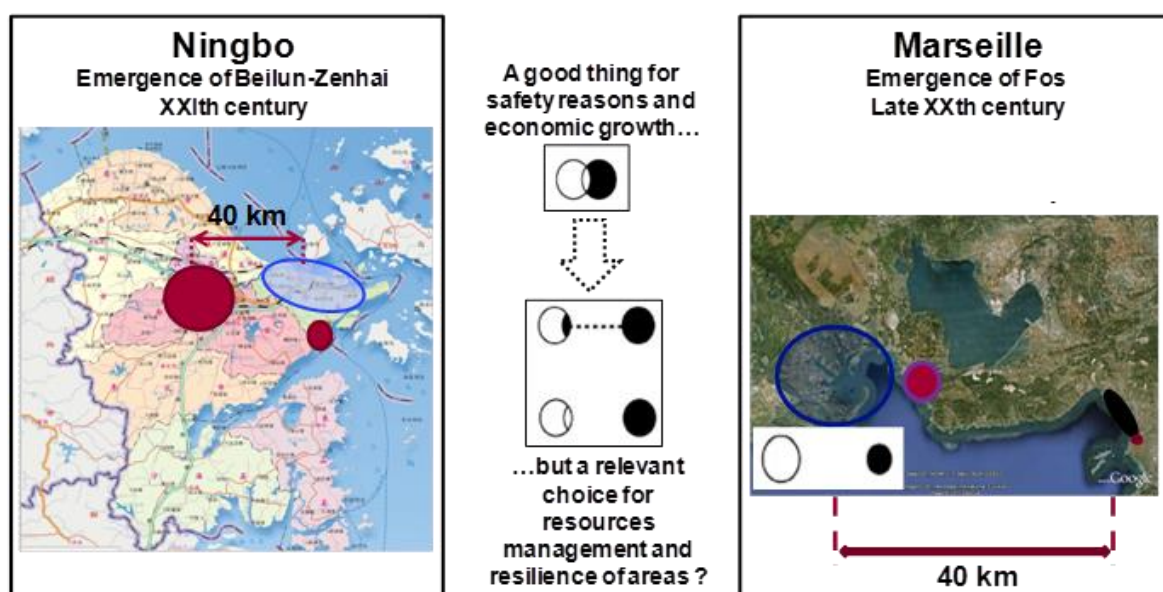


Figure 26 – Similitudes en termes d'évolution spatiale (déconnexion Ville-Port) entre Marseille et Ningbo

Actuellement, la période de transition constatée au sein des territoires portuaires étudiés se caractérise par une nouvelle exploration des interactions fonctionnelles possibles (détaillées dans le paragraphe suivant), notamment à travers la dimension stratégique de l'énergie.

2.3.2. Vers un renouvellement des interactions entre sous-systèmes territoriaux, le levier énergétique

Les trois études de cas considérés donnent un aperçu des trajectoires socio-écologiques des territoires portuaires évoluant vers des systèmes économiques à bas carbone.

Au-delà des politiques locales d'amélioration (économies d'énergie, innovations technologiques, etc.) par sous-système (industriel et portuaire, agricole, urbain), l'écologie industrielle et territoriale est ici utilisée pour développer de nouvelles interactions sur le territoire industrialo-portuaire, au sein des sous-systèmes (industriels, agricoles et urbains) et entre sous-systèmes dans une logique de décroissement territorial. L'exploitation des sources d'énergie locales et/ou renouvelables repose sur une forte diversité et diffusion de parties prenantes et de gisements locaux (ou matières premières secondaires) dans l'agriculture (déchets d'exploitations, solides ou liquides), l'industrie (sous-produits, chaleurs fatales, etc.), la ville (boues de STEP, etc.). Les zones industrialo-portuaires de Beilun-Zenhai près de Ningbo constituent par exemple un espace symbiotique (Figure 27) basé sur des échanges de flux (matières premières chimiques de base, eaux usées, vapeur, hydrogène, etc.) entre industries mais également entre industries et les ensembles urbains (**interactions I-U**) situés à proximité des complexes industrialo-portuaires.

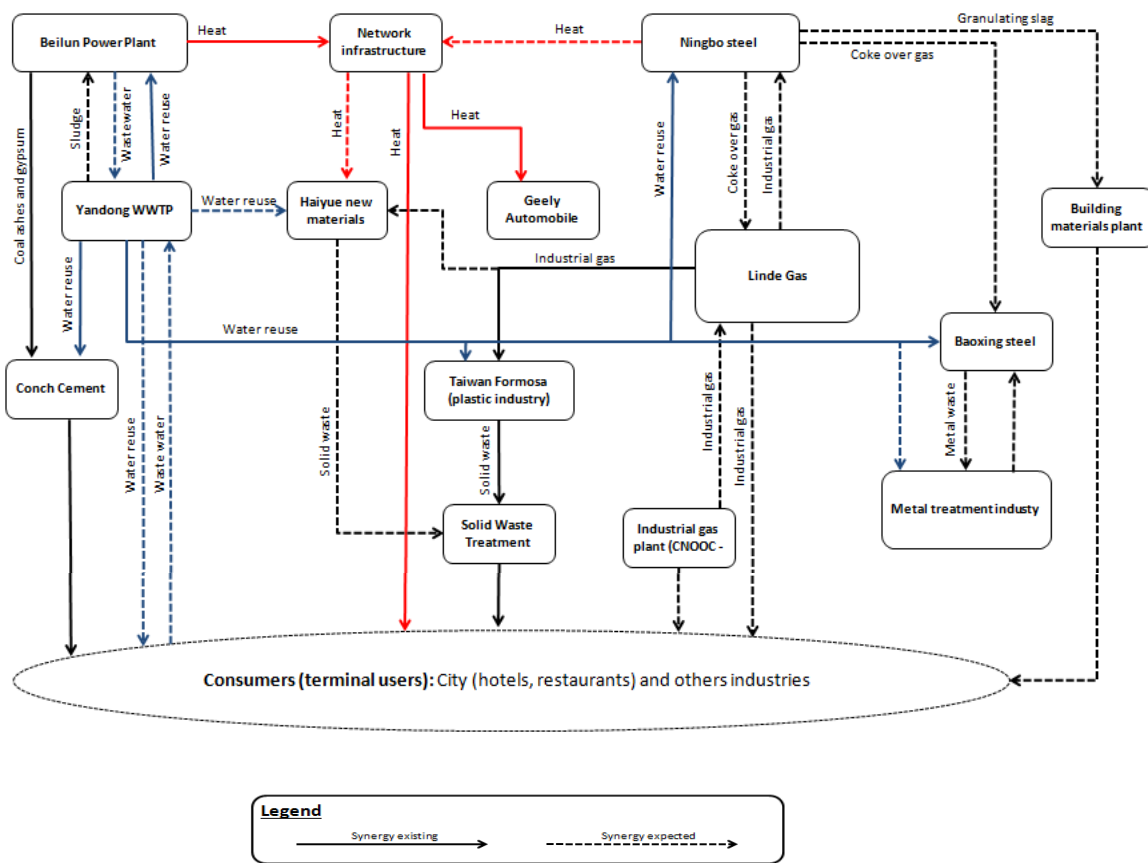


Figure 27 – Métabolisme simplifié des zones industrial-portuaires de Beilun et Zenhai en Chine

Le réseau de chaleur, alimenté par les centrales de production d'énergie locales et par les rejets de l'usine sidérurgique (projet en cours de réalisation), fournit par exemple de la chaleur à une série d'acteurs industriels pour leurs besoins de process et de chauffage, mais également à d'autres acteurs situés en périphérie de la zone industrialo-portuaire (hôtels, bâtiments publics, restaurants, PMI, etc.).

A Ulsan, près d'une trentaine de symbioses industrielles ont été identifiées, dont la moitié concernent des problématiques énergétiques (Figure 28).

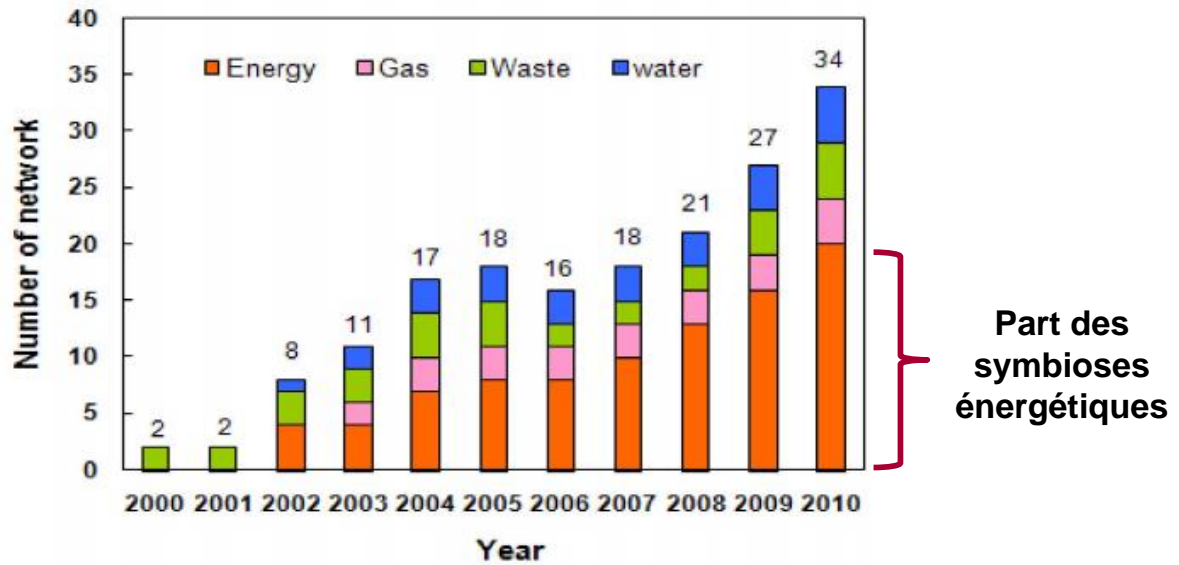


Figure 28 – Evolution des synergies à Ulsan (source: Park, 2013)

Ces synergies ont été développées dans un premier temps au sein du complexe industrialo-portuaire, constitué de différentes entités (Onsa, Mipo, etc.). Là encore, les réseaux de chaleur (Figure 29) alimentés par des excédents thermiques provenant des industries locales fournissent de la chaleur à des acteurs locaux privés (entreprises) ou publics (collectivités).

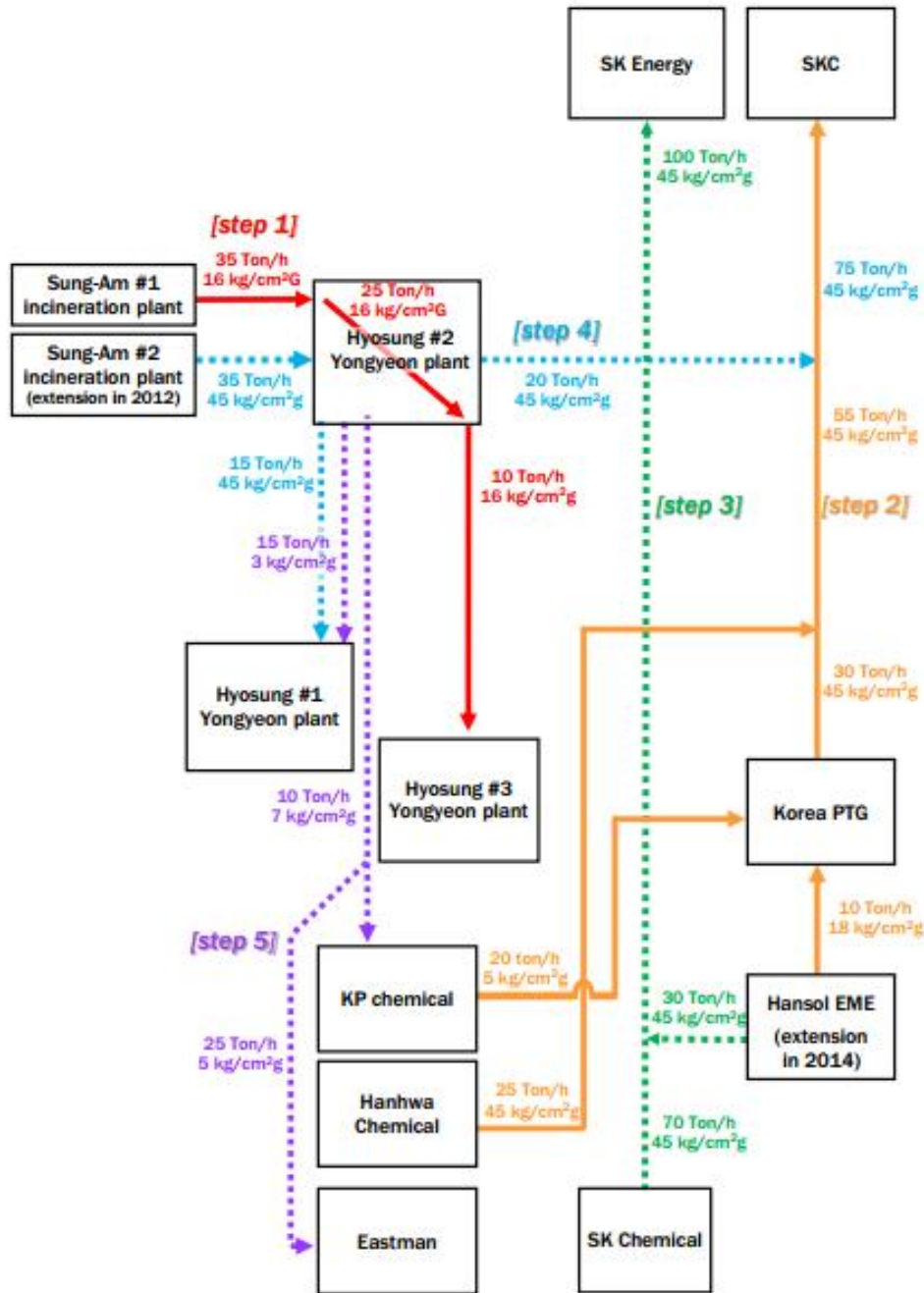


Figure 29 – Détail d’une symbiose industrielle sur Ulsan (source: Park, 2013)

Il est ici également intéressant de constater que ces synergies incluent aussi aujourd’hui des flux de déchets (déchets de production, de transformation et déchets d’élevage tels que les lisiers de porcs) générés par les activités agricoles (**interactions I-A**) présentes sur le territoire métropolitain d’Ulsan ainsi que des flux d’origine urbaine (boues de STEP, déchets d’alimentation). Ces matières résiduelles sont massifiées au sein de la zone industrialo-portuaire, pour y être transformées en ressources énergétiques (méthanisation). Le biogaz produit par l’unité de méthanisation est ensuite valorisé par des industriels locaux (Hankuk Paper Company, etc.), en substitution à des consommations de gaz naturel importé (2 millions de dollars économisés par an), et les matières restantes de l’unité de méthanisation sont revalorisées localement en produits de fertilisation agricole.



Figure 30 – Détail d’une interaction industrie-agriculture-ville sur Ulsan (source: Park, 2013)

Cet exemple (Figure 30) illustre les capacités de combinaison synergétique offertes par les sous-systèmes industriels, agricoles et urbains, dans une logique d’optimisation énergétique à une échelle territoriale métropolitaine, soutenues par des politiques publiques fortement structurées et organisées à l’échelle locale, régionale et nationale (Park, 2013).

Le territoire métropolitain de Marseille dispose également de potentiels non négligeables en termes d’optimisation énergétique avec des points de consommation (Figure 31) et de production énergétique à la fois diffus (consommation des sites urbains) et concentrés (sites industriels du pourtour de l’étang de Berre, de Gardanne, etc.).

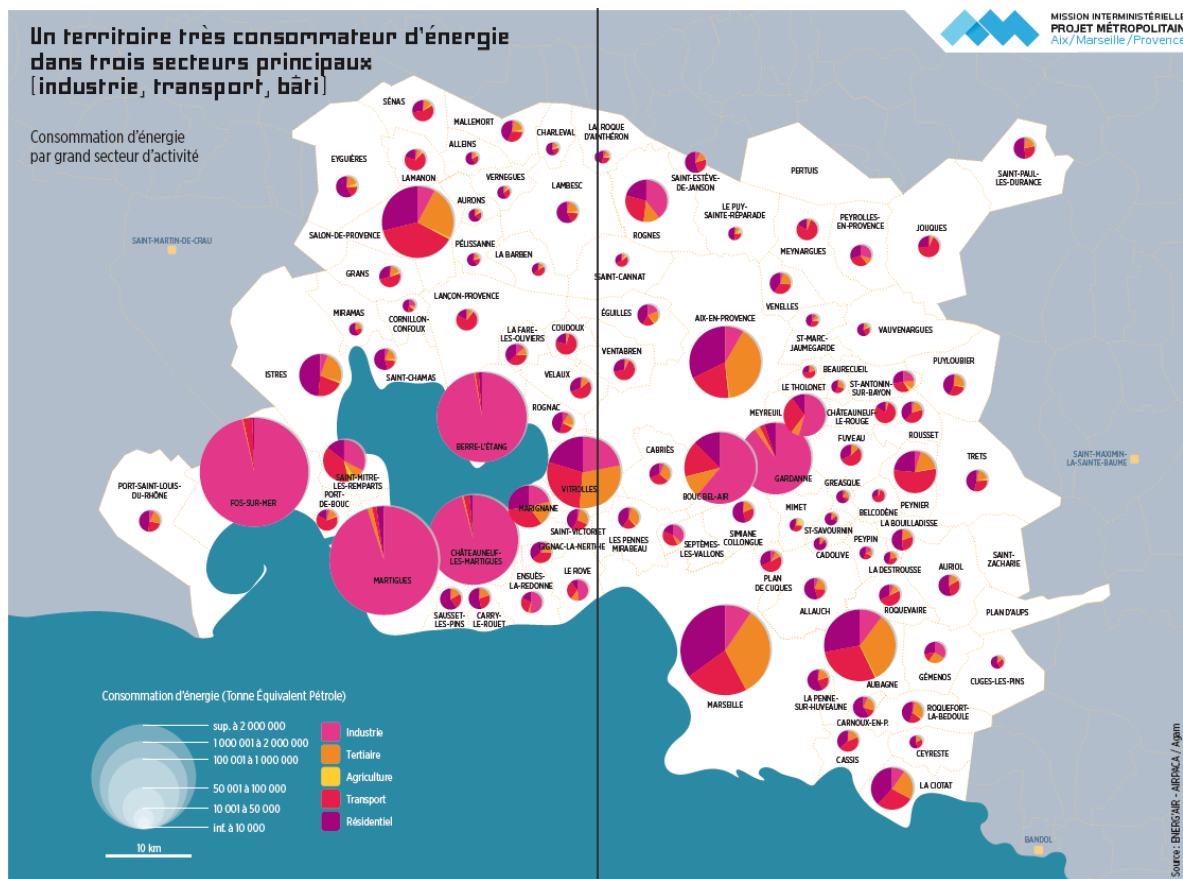


Figure 31 – Points principaux de consommation d’énergie sur le territoire métropolitain d’Aix Marseille Provence (source: MISE, 2013)

A Marseille, la diminution entre 2008 et 2009 du tonnage d’hydrocarbures traités (baisse de 10 millions de tonnes) a été considérée comme un choc pétrolier localement (Vincent, 2014), les fermetures effectives ou envisagées de raffineries locales, la réorganisation de l’industrie de l’acier ont constitué des éléments significatifs d’un changement structurel local autour des enjeux liés à l’énergie. Dans ce contexte et suite à l’échec d’implantation de nouvelles industries localement, l’autorité portuaire a dû revoir ses tactiques de commercialisation et développer de nouvelles stratégies, en s’appuyant sur l’écologie industrielle, le fait d’envisager de nouveaux services énergétiques et de repenser son rapport au territoire, en allant dans le sens du projet métropolitain. Ce dernier consiste en effet à dépasser l’organisation polycentrique et économique de la région afin de reconstruire une cohérence territoriale à l’échelle métropolitaine en coordination avec les acteurs locaux, notamment sur l’enjeu énergétique considérant que le territoire métropolitain ne produit que 6% de l’énergie qu’il consomme, et au sein de laquelle la part issue d’énergies renouvelables est négligeable (2,1% actuellement de la consommation locale). Cela implique un potentiel profond changement dans la fonction locale du port et de sa structure, évoluant d’un importateur pur d’énergie et à un rôle de producteur/opérateur d’énergie. Son implication dans le cadre du projet de plateforme PIICTO (création d’un réseau de chaleur, développement d’innovations technologiques VASCO 2, etc.) est une illustration de cette nouvelle dynamique de coopération industrialo-portuaire (Figure 32).

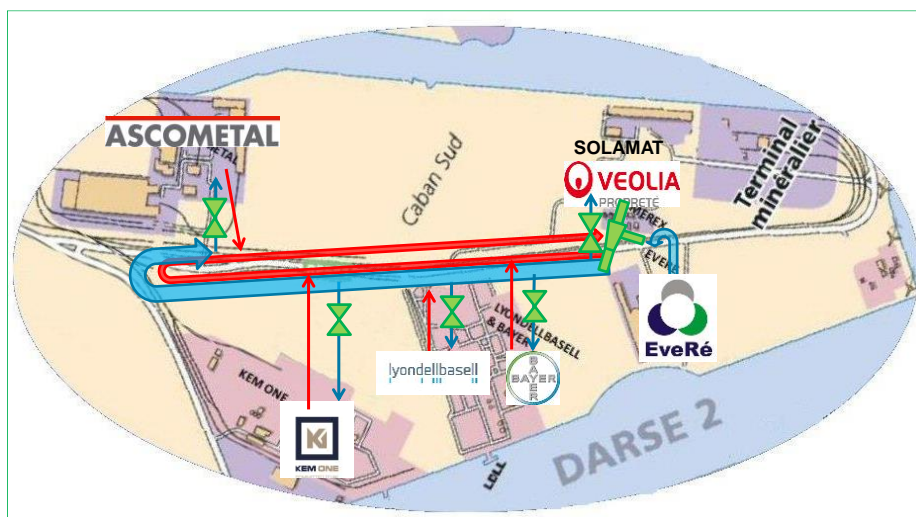


Figure 32 – Projet de réseau de chaleur de la plateforme PIICTO (Source: PIICTO, 2014)

Il ressort que les processus d'adaptation ne semblent pas impliquer un changement profond (du moins à moyen terme) en termes d'infrastructures, mais un changement en termes de sources d'énergie primaires, en s'appuyant davantage sur les gisements locaux non exploités (ressources naturelles telles que la biomasse, le solaire, l'éolien, etc.) ou perdus (chaleurs fatales, rejets industriels et agricoles, etc.), les infrastructures et les compétences pré-existantes localement. A Marseille, l'infrastructure du terminal méthanier (terminal, unité de regazéification, pipelines, etc.) construit par GDF Suez a été conçue de sorte qu'il pourrait gérer également un flux de 50% de biogaz provenant de la nouvelle usine de méthanisation d'ici 2030. Par ailleurs, le projet VASCO 2 réfléchit aux interactions entre enjeux liés à l'énergie (notamment éolienne offshore), la pêche et l'aquaculture, à travers des procédés de culture des micro-algues consommant elles-mêmes pour leur croissance du CO₂ qui peut notamment être issu des rejets industriels. Ce projet s'appuie notamment sur les compétences locales des industriels de la pétrochimie qui sont en pleine mutation de leurs activités depuis quelques années et qui doivent envisager une reconversion de leurs sites. L'approche stratégique développée dans les éco-parcs d'Ulsan vise également à remplacer progressivement les sources d'énergie primaire (pétrole, GNL) par des sources d'énergie complémentaires au moyen d'interconnexions entre les infrastructures existantes. Par exemple, l'approvisionnement énergétique (en chaleur) de l'usine de papier Hankuk repose désormais uniquement sur l'énergie provenant d'une symbiose industrielle opérée avec LS-Nikko Corp., soit près de 150 tonnes/heure de vapeur (**interactions I-I**).

L'étude des transitions opérées au sein de ces territoires consiste donc à ne pas considérer dans l'analyse les différents sous-systèmes (industriel ou autres) de façon isolé, tels que dans l'étude de cas de Porto Marghera par Mannino *et al.* (2015), mais plutôt considérer de nouvelles opportunités dans un périmètre industrialo-portuaire élargi qui est un système ouvert dans lequel s'opèrent de multiples interactions entre sous-systèmes industriels, agricoles et urbains. La ville peut ainsi mieux atteindre une forme de durabilité en tenant compte des potentiels d'optimisation de l'énergie dans le secteur industriel situé à proximité (Olazabal, 2012; Chelleri *et al.*, 2012; Geels, 2011) et inversement une zone industrialo-portuaire peut évoluer vers de nouvelles stratégies énergétiques en considérant ses interactions potentielles avec les zones agricoles et urbaines voisines. Cette remarque peut également s'appliquer au monde agricole. Ce dernier a une forte culture de la coopération en interne (notamment via les GAEC pour la conduite des exploitations) ou pour

l'utilisation partagée du matériel agricole par l'intermédiaire des CUMA (Coopératives d'Utilisation de matériel agricole) qui existent depuis la fin des années 40 (CESER Aquitaine, 2015). Toutefois, le monde agricole n'envisage pas ou peu aujourd'hui les interactions qu'il pourrait avoir en termes d'optimisation des flux avec les secteurs industriels ou urbains.

2.3.3. Vers une métropolisation des démarches portuaires d'écologie industrielle

Dans les trois cas d'étude, on constate quasi-systématiquement sur la dernière décennie un processus de redéfinition du territoire, dans une logique de métropolisation, qui entraîne un changement d'échelle à la fois dans l'appréhension des enjeux et dans la déclinaison des actions et des stratégies d'adaptation, dans une logique notamment de reconnexion et d'agglomération des différents sous-systèmes fonctionnels constitutifs du territoire. Cette même tendance de « métropolisation », notamment autour de l'enjeu de gestion des ressources, s'observe dans d'autres places portuaires comme à Barcelone ou à Amsterdam, où le port devient un élément clé d'un système territorial élargi et de la bio-économie (Jong, 2014). Il apparaît en effet aujourd'hui nécessaire d'articuler les dynamiques portuaires de développement de l'écologie industrielle et de l'économie circulaire avec les grandes tendances de planification et d'aménagement autour des espaces métropolitains et des corridors logistiques et portuaires (Daudet, 2012). Lee (2008) et Ducruet et Lee (2006) ont montré les tendances d'évolution spatiale des villes portuaires, en Occident et en Asie, allant d'un espace urbain et portuaire qualifié de « primitif », symbolisé par un port de commerce et de pêche imbriqué au cœur de la ville, à la constitution de véritables ensembles urbain et portuaire de portée mondiale (mégapole ou *hub*).

A Marseille, par exemple, au-delà des initiatives menées à des micro-échelles au sein du territoire (parcs industriels, communes, etc.), la stratégie d'économie circulaire est aujourd'hui envisagée également à travers le projet métropolitain, en vue d'accompagner la transition énergétique à l'échelle d'un territoire disposant d'une visibilité institutionnelle et d'une cohérence économique, à la mesure de son équipement industrialo-portuaire de premier plan (1^{er} port de France en tonnage), susceptible de le rendre légitime, compétitif et attractif vis-à-vis des autres territoires et des autres échelons territoriaux. Ce contexte de métropolisation constitue un levier significatif pour reconsidérer l'échelle cohérente d'action et de réflexion stratégique pour la concrétisation de nouvelles synergies intersectorielles et le développement économique du territoire, étant donné le faible niveau de production énergétique (moins de 1Mtep/an) localisé sur ce territoire au regard des niveaux de consommation (plus de 11 Mtep/an).

Si des stratégies énergétiques territoriales nouvelles semblent apparaître dans le contexte de métropolisation des places industrialo-portuaires, s'appuyant notamment sur une logique de décloisonnement des approches auparavant plutôt considérées « par silo », cela irait donc dans le sens d'une plus grande technicité pour comprendre et caractériser le fonctionnement du système étudié (tout en renforçant l'importance de la notion d'approche systémique) orienté dans une logique (souhaitée) de plus grande durabilité. Au-delà de relever dès lors d'une approche multi ou interdisciplinaire pour réussir à appréhender ce processus d'évolution socio-écologique, tel qu'abordé dans le cadre de ce chapitre, cela ne va pas sans poser aussi des questions liées au niveau

de complexité atteint par ce système industrialo-portuaire, supposé plus vertueux du point de vue de la gestion des ressources. A travers ce processus de métropolisation des stratégies et des actions constaté sur différents territoires d'études en Europe et en Asie, les territoires industrialo-portuaires accentuent leur dimension de système complexe, et semblent donc en mesure de se développer d'une manière différente en s'appuyant sur de nouvelles dynamiques de coopération entre parties prenantes locales (en augmentant le nombre et la diversité d'interactions), tout en restant des systèmes territoriaux naturellement ouverts (de par la composante portuaire notamment). L'ensemble de ces processus d'adaptation et d'expérimentation renvoie à une dynamique non linéaire qui, tel que le décrivent Carpenter *et al.* (2011), peut alors traduire un changement de régime (transition). Si on compare ces dynamiques au fonctionnement naturel des écosystèmes, on pourrait questionner la capacité de cette tendance de complexification du système énergétique territorial à entraîner une plus grande résilience et maturation du système d'étude (Clements, 1916, 1936).

2.4. Conclusion du chapitre 2 et transition

Pour appréhender la vraie maturité du système anthropique, et donc sa durabilité, Wallner (1999) pose la question du maintien de son organisation, de sa structure et de sa fonction dans un contexte où le recours aux ressources d'origine fossile aurait sensiblement diminué voire où elles seraient largement exclues. L'augmentation de la complexité des systèmes portuaires et la recherche de fixation d'activités économiques diverses contribueraient ainsi à un maillage des territoires et de fait à une augmentation de la stabilité du système, au sens écologique, dans lequel la création de valeur est basée dans tous les cas sur des échanges matériels et économiques (utilités, etc.). Dès lors, ces systèmes auraient pour enjeu de passer d'un stade « juvénile » (caractérisé par une croissance continue des flux et des échanges) à un stade « mature » pour gagner et conserver leur équilibre, et devraient ainsi concentrer une grande part de leur énergie au maintien de leur(s) infrastructure(s) matérielles et immatérielles existantes. Dans un stade juvénile, les énergies fossiles, comme le charbon et le pétrole, ont été utilisées pour nourrir la croissance exponentielle des systèmes ville-port. Dans un stade de maturité, l'énergie fossile serait remplacée en partie par les énergies renouvelables et la densification des interactions énergétiques entre les composants du système augmentait, afin de maintenir le système industrialo-portuaire dans un état stable. Bien que cela puisse être intéressant pour appréhender leurs futures trajectoires socio-écologiques, il est encore difficile de concrètement identifier et caractériser quels sont les signaux préalables (Carpenter *et al.*, 2012 ; Scheffer *et al.*, 2009) pouvant indiquer ou laisser présager une étape de transition (Geels et Schot, 2007), notamment énergétique, au sein des territoires, qui restent par nature des structures complexes à analyser.

Bale *et al.* (2015) ont décrit comment la théorie et les outils de la science de la complexité pourraient être utilisés pour mieux comprendre les processus de prise de décisions complexes qui sont nécessaires pour promouvoir une transition vers des systèmes énergétiques sûrs et efficaces, et à faible niveau d'émissions de carbone. Le chapitre 3 aura donc pour ambition de mettre en lumière les mécanismes d'articulation entre complexification, maturation et résilience des territoires portuaires.

Chapitre 3 : Plus-value territoriale et processus de complexification au sein des territoires portuaires en période de transition

3.1. Introduction au chapitre 3 : processus de complexification du territoire portuaire

Ce chapitre s'intéresse plus particulièrement à l'étude du territoire industrialo-portuaire de Marseille, engagé dans un processus de préfiguration d'un pôle métropolitain.

Depuis le début des années 2000, le Port de Marseille, confronté à des difficultés de développement, a été contraint de définir une nouvelle politique de prospection commerciale. Celle-ci avait pour but de maintenir les activités existantes et le trafic maritime associé mais d'accueillir également de nouvelles activités, afin d'accroître le trafic maritime du port et de mieux valoriser le foncier disponible (seuls 20% des 10 000 hectares de la ZIP étant exploités). Durant cette période marquée par la prise de conscience des aspects environnementaux et par différentes tensions (coût des matières premières, notamment énergétiques mais également des conflits d'usages récurrents avec des agriculteurs, des associations, des collectivités, etc.), le Port a dû s'adapter et faire évoluer son activité fortement polluante et finalement peu connectée avec son territoire environnant (Pichon *et al.*, 2015). La stratégie du Port a ainsi cherché à répondre aux enjeux de transition énergétique (utilisation plus rationnelle de l'énergie et développement des énergies renouvelables) et à ré-investir l'interface port-ville. L'écologie industrielle a ainsi été promue afin de développer de nouvelles synergies entre les industries implantées sur la ZIP et faire évoluer les pratiques de coopération entre les acteurs socio-économiques présents sur le territoire portuaire. Différents diagnostics ont alors été menés en parallèle par le Port, notamment un diagnostic des technologies clés présentes sur le territoire, un diagnostic énergétique (Jublan, 2004) et une analyse de flux de matières et d'énergie (Junqua, 2004). A partir de l'année 2008, différents partenaires du Port (SAN Ouest Provence, SCOT Ouest Etang de Berre, Ecole des mines d'Alès, etc.) vont également mener des études opérant ce lien entre écologie industrielle et problématique énergétique au service du territoire. L'autorité portuaire a ainsi évolué dans sa réflexion, partant d'une problématique de diversification industrielle à une problématique plus globale de mutation industrielle, dans le contexte de la transition énergétique. Depuis 2013, le projet de plateforme PIICTO (Plateforme Industrielle et d'Innovation du Caban – Tonkin) illustre cette dynamique coopérative progressive sur le territoire portuaire, associant différentes parties prenantes locales (industriels, autorité portuaire, collectivités, chercheurs, etc.) autour du déploiement et de l'expérimentation de nouvelles solutions innovantes pour la gestion de l'énergie et des matières.

Ce chapitre vise donc à évaluer en quoi une approche territoriale, décloisonnée et interfonctionnelle de l'écologie industrielle permet d'accroître les performances en termes de gestion des ressources (troisième hypothèse de recherche). Sur la base d'une étude d'exemples concrets développés ou en cours de réflexion sur le territoire, et de rencontres d'acteurs, ce chapitre propose d'illustrer

l'opportunité liée aux nouvelles interactions entre milieu portuaire, milieu agricole et milieu urbain, dans une optique de meilleure gestion des ressources à une échelle territoriale relativement nouvelle en France, à savoir la métropole. Ce chapitre approfondit et illustre les différents scénarii de transitions socio-écologiques identifiés sur Marseille-Fos, ce qui permet de discuter notamment la dimension de proximité dans le contexte industrialo-portuaire. Il vise à discuter, par une analyse qualitative, l'hypothèse d'une plus-value de l'approche territoriale de gestion des ressources (que nous avons résumé par les phases et termes de l'équation, en introduction générale) en opposition et/ou complémentarité aux approches sectorielles plus classiques, déclinées par sous-systèmes territoriaux (synergies interfonctionnelles versus des synergies sectorielles) à des échelles « macro », « meso » et « micro ».

3.1.1. Un processus dé-corrélé d'une véritable ambition territoriale et politique

Nous montrons par cette analyse de cas que le processus de complexification de la Métropole d'Aix-Marseille-Provence ne s'opère pas de manière pro-active sur le territoire industrialo-portuaire mais résulte plutôt d'un processus d'évolution distinct des différents sous-systèmes constitutifs du système territorial, processus lui-même déclenché par une série d'aléas et de facteurs endogènes et exogènes. Cela renvoie à l'hypothèse que ce processus de complexification, ici illustré par le phénomène de métropolisation, dépend d'une démarche volontaire et conjointe des parties prenantes afin de pouvoir appréhender collectivement, à cette échelle de territoire, des enjeux (d'aménagement du territoire, de gestion énergétique, etc.) dans une logique de coopération entre acteurs (synergies). Cette démarche, basée initialement sur des besoins vitaux de chaque partie prenante (soit criticité sur l'accès à une ressource, soit incapacité à l'exploiter seul) se différencie en cela des approches d'opportunités qui visent à la structuration de niches, par un ou des acteurs isolés, qui n'entraînent pas forcément un bénéfice mutuel pour l'ensemble des parties prenantes (commensalisme). Cette démarche collective et partenariale s'illustre par exemple à travers le cas du projet de plateforme PIICTO qui a émergé suite à la perte d'un important prospect commercial (entreprise Hexcel) et à la mise en liquidation judiciaire de deux industriels locaux, avant que le territoire métropolitain (notamment ses élus) ne se saisisse pleinement de ce besoin d'évolution de son modèle d'organisation. Cela illustre aussi la difficulté d'évaluer concrètement l'impact et le poids de l'initiative territoriale métropolitaine (cf. partie 3 de l'équation présentée dans la problématique de recherche). La démonstration d'un gain en efficacité (ou d'une diminution de la dépense, des intrants), via l'établissement de boucles en interne est intuitivement facile à comprendre. Plus le nombre de boucles est important, plus le système sera complexe. Au-delà, pour que ce système soit résilient, il faut que ces boucles ne soient pas déconnectées entre elles et qu'elles ne dépendent pas non plus d'un seul et unique itinéraire ou vecteur (qui pourrait fragiliser, par sa disparition ou son dysfonctionnement, le comportement du système global). Pour autant, démontrer une augmentation réelle de la complexité par une étude des évolutions socio-écologiques des niveaux de diversité et connectivité, n'est pas chose facile. C'est sur ce point que nous avons focalisé notre travail.

Si l'échelon métropolitain apparaît opportun pour appréhender certains enjeux, notamment ceux liés à la transition énergétique, il convient néanmoins de ne pas perdre de vue la diversité des initiatives prises à des échelons plus locaux (ex : Plaine du Lubéron, Fos, Aubagne, etc.). En effet, la mission

actuelle de préfiguration de la future Métropole d'Aix-Marseille Provence raisonne davantage en termes de grands « zoning » dans son analyse du territoire et de fait « simplifie » sa vision des espaces. Par exemple, l'étang de Berre est caractérisé comme une zone pétrochimique en occultant quelque peu les dimensions urbaines et agricoles, entre lesquelles émergent justement de nouvelles formes de coopérations concrètes et locales, qui ne ressortent pas autant à la seule échelle métropolitaine en raisonnant entre grands ensembles.

3.1.2. Une phase de transition énergétique qui s'appuie sur une diversification du mix énergétique et sur de nouvelles interactions fonctionnelles locales

L'étude de la dynamique du territoire métropolitain d'Aix-Marseille-Provence a mis en évidence un double processus local de diversification du mix énergétique, qui reste appuyé sur une utilisation non négligeable des sources d'énergies fossiles (importées) mais qui intègre également de plus en plus une mobilisation de sources d'énergies renouvelables locales (éolien, biomasse, photovoltaïque, géothermie, etc.) et de matières premières secondaires (déchets urbains, agricoles, industriels) grâce au développement d'échanges matériels et informationnels (interactions ou synergies) entre les sous-systèmes industriel, agricole et urbain.

Le système aurait diminué sa consommation globale, toute autre chose étant égale par ailleurs (niveaux de consommation individuelle, nouveaux besoins, augmentation de la population ou de la mobilité, etc.). En effet, en augmentant les taux d'utilisation interne des matières (boucles de recyclage et utilisation en cascade des flux de matières), le système d'étude accroît son stock et limite les quantités rejetées dans le milieu naturel.

Bien que programmée à travers un certain nombre de documents de planification locaux, cette logique d'économie davantage circularisée demeure encore balbutiante sur ce territoire et devra encore faire la démonstration de son efficacité, à grande échelle, pour concrètement observer une modification substantielle du métabolisme territorial, que ce soit au niveau des inputs ou des outputs.

Ce chapitre correspond principalement à la publication suivante (en cours de soumission):

- *Mat, N., Cerceau, J., Junqua, Lopez-Ferber, M., 2015. Complexity as a mean for resilience in port metropolitan areas: application to Aix-Marseille case study in France.*

Ce chapitre s'appuie également sur les productions et compléments apportés aux publications suivantes :

- *Mat, N., Cerceau, J., 2015. Economie circulaire et écosystèmes portuaires. Note stratégique et prospective réalisée pour le compte de la Fondation Sefacil.*
- *Mat, N., Cerceau, J., Junqua, G., Moine, H., Dagnet, F., Lopez-Ferber, M., 2015. Transformations toward sustainable port cities: dynamics and processes of adaptation in the*

Marseille area. Proceeding during the 11th Biennial Conference of the European Society for Ecological Economics. Leeds (UK).

3.2. La complexité comme facteur de résilience d'un territoire métropolitain portuaire

Complexity as a means of resilience in metropolitan port areas: application to the Aix-Marseille case study in France

Authors: Mat, N., Cerceau, J., Lopez-Ferber, M., Junqua, G.

Abstract:

Port and industrial areas are strategic components in a global society that is largely dependent on fossil fuels and low cost energy. These areas face huge environmental, economic, and social challenges in the context of a shift toward a low-carbon future. Based on a case study of the Marseille port area, this article examines whether increasing complexity, understood as both connectivity and diversity, could enhance the overall resilience of port-city socio-ecological systems.

One of the main drivers in the transition toward a low-carbon energy future in our case study is the emerging metropolitan dynamic that is prompting the development of new industrial, urban, and agricultural interactions between subsystems. Indeed, we show that various interactions between subsystems have already been or are being implemented, or are expected in the Marseille metropolitan area. In response to the current economic crisis, the port area of Marseille could become a better adapted and less vulnerable industrial system by developing new forms of territorial synergies (self-organization) and by better mobilizing local resources (renewable energy sources and by-products).

Key-words: industrial ecology, port areas, complexity, resilience

1. Introduction

Industrialized societies are experiencing the limits of the current fossil energy system (Fischer-Kowalski *et al.*, 1997; Siefertle, 2001; Haberl *et al.*, 2004; Schlör *et al.*, 2014). Jacobson and Bergek (2011) have evaluated the huge scale of energy transformation needed to decarbonize the electricity sector by 2050. At the international scale, metropolitan port areas concentrate huge environmental, economic, and social challenges in terms of the shift toward a low-carbon future. Located at the confluence of maritime and terrestrial networks, serving both local and global economies, ports areas are strategic logistics nodes for major flows of raw materials and transformed goods. They are key components in all societies, especially in a society dependent on fossil fuels and low cost energy (Mat *et al.*, 2015). Due to their high energy consumption and the dissipation in their various processes, these strategic areas must address transition and adaptation issues to achieve and contribute to a low-carbon future. Combining the socioecological framework (Redman *et al.*, 2004; Haberl *et al.*, 2006; Ostrom, 2009; Krausmann and Fisher-Kowalski, 2013) and industrial ecology developments (Chertow, 2000), Mat *et al.* (2015) have described and compared the different innovative regional eco-industrial development policies implemented in three metropolitan port areas (Marseille in France, Ulsan in South Korea and Ningbo in China), focusing on the changing relationships between energy, land cover, time use, and governance in each case studied. This article shows the main changes and adaptation processes (regimes and transitions) from the beginning of the 20th century until today. Even if the energy infrastructure is maintained in each case study, the

changes in the primary sources of energy presupposes the growing integration and functional complexity of port-city socio-ecological systems and the increased interconnectedness between local port-city components (port-related companies with urban and agricultural activities). However, we may ask if these trends be linked to the greater resilience of port cities?

Continuing our previous research, this paper examines the question of the enhancement of the overall resilience of globalized metropolitan port socio-ecological systems. While some recent research has studied the evolution of complexity in ecological systems (Anand *et al.*, 2010), other studies focus instead on complexity and urban growth (Bristow and Kennedy, 2015). Yet, as far as we know, complexity in industrialized and metropolitan areas seems to have been neglected. Clements (1916, 1936) describes the transitions in ecosystems, from a juvenile stage to a mature and more resilient stage. This transition is characterized by a more efficient use of material and energy input flows. Industrial ecology proposes to transpose these ecological transitions to industrialized systems in which the juvenile stage is mainly based on one fossil energy (oil in Marseille today) used to feed the exponential growth of industrialized systems, and in which a more mature stage gradually diversifies energy sources with renewable energy and closed loops within the system. The level of complexity is usually used in ecological studies as an indicator of the evolution of an ecosystem, achieving an optimized and steady state equilibrium based on a variety of biological species, networking and intra- and inter-specific interactions, functional redundancy, and implementation of synergies and symbioses. More recently, complexity analysis has been established as a relevant framework for analyzing the evolution of industrialized systems toward more resilience (Meerow and Newell, 2015; Wells, 2012). For instance, Chen *et al.* (2010) have performed structural complexity analysis, which they applied to the Lubei industrial ecosystem in China in order to better understand the nature of industrial ecosystems. Bale *et al.* (2015) have explained how complexity science could be relevant to better assess and understand energy systems, which they analyze as complex adaptive systems.

Following Wallner (1999), who compared the system of a biological cell to an economic unit (the enterprise), our study proposes to describe the processes of complexification and their consequences on the resilience and stability of metropolitan port systems. We define complexity as the equilibrium between diversity and interconnectedness, and argue that metropolitan port systems may be more mature and resilient if they are able to better mobilize resources internally (closed loops) and discharge less emissions. We focus on energy issues and the use of primary energy sources appears to be a decisive factor in the socio-ecological transition toward resilience. Bristow and Kennedy (2013) show that flexible energy use and storage are relevant indicators of resilience. In particular, they highlight that the accumulation of stocks is a way to characterize resilience. In ecology, the maturity level of an ecosystem implies a certain amount of stored biomass, and by analogy, the maturity of an industrialized system depends on the level of infrastructure development. Moreover, Fagnart *et al.* (2015) have demonstrated that complexity may influence the energy intensiveness of production and that the link between complexity and energy could affect the type of long-term growth made by society.

Our research is embedded in and illustrated by a specific case study: the Aix-Marseille-Provence metropolitan area (Figure 33), located in the South of France, which in 2012 covered 3,173 km² and was home to 1,836,788 inhabitants. For over 100 years, economic activity in this area has been structured around harbor-based industries (petrochemical industries, paper making, steel industry, electronic & IT industries, energy industry), traditional industries such as textile and plastics, car factories, shipbuilding, and since 1960s, logistics and container shipping. The Marseille-Fos Port is France's biggest port (in terms of weight) providing more than 43,000 jobs locally and creating 4 billion euros in added value (OCDE, 2013). As a generalist port, it handles all kinds of goods: hydrocarbons and bulk liquids (oil, gas, and chemical products), general cargo (containers and other packaging), and solid bulk (minerals and cereals).

This case study is emblematic of the energy issues facing metropolitan port areas. Experiencing a growing disconnection in its port-city interface during the 20th century, this old industrialized and strategic port area is mainly dependent on fossil energy sources (coal, oil, and gas) to cover its needs (11 Mtoe per year). The industrial sector is the primary local user of energy (7.3 Mtoe/year), while the residential, tertiary, and transport sectors account for equivalent shares of about 1.4 Mtoe/year each. Agriculture is the sector that uses the smallest amount of energy (only 0.002 Mtoe/year). In this area, energy is used through heat (54%), electricity (28%), and fuel for transport (19%) (AGAM, 2013). The local transformation of energy (0.8 Mtoe per year), which represents only 7% of local consumption, is mainly based on imported fossil energy sources, transformed by thermal units and Combined Heat and Power (CHP) units (0.52 Mtoe/year). The rest of the energy required comes from outside of the area (electrical network, oil

derived products, coal). Currently, only a small amount of local resources (renewable sources and waste) are used (0.28 Mtoe/year). The Marseille-Fos Port is the 3rd largest oil port in the world (with hydrocarbon traffic that amounted to 52.74 M tons in 2012). Since a significant portion of global maritime exchanges today concern fossil energy products, it is relevant to ask if the scarcity of fossil fuel resources will have an impact on the long-term adaptability and vulnerability of this port-city.

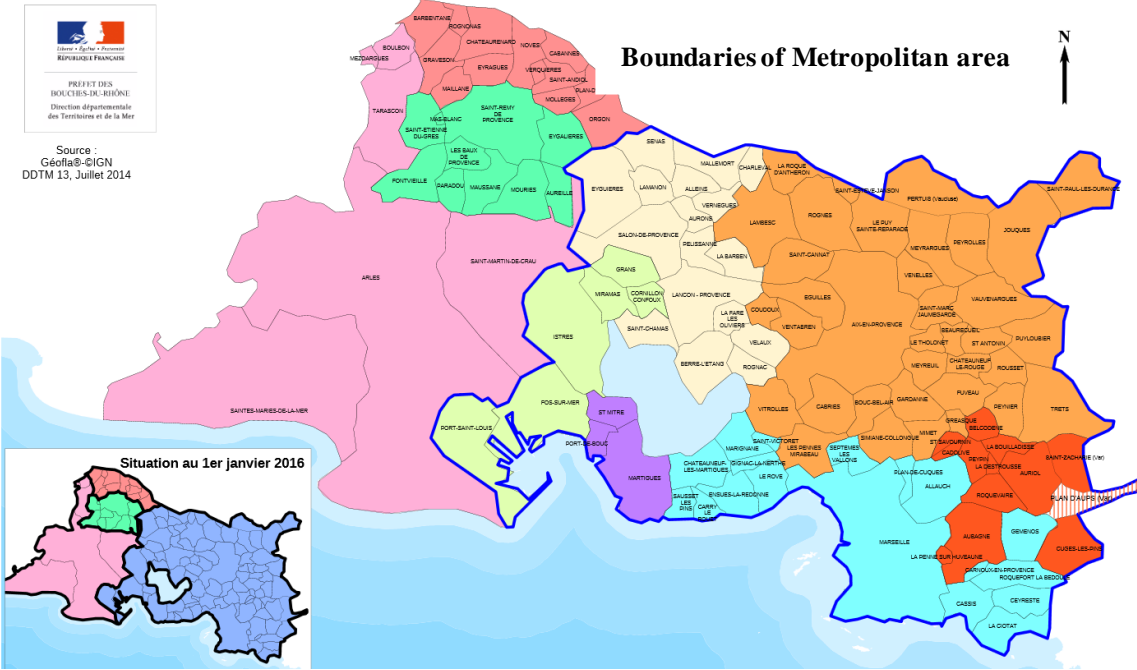


Figure 33 - Boundaries of Aix-Marseille-Provence metropolitan project area (from DDTM 13, 2014)

2. Assessment of complexity trends in port cities: methodological framework

2.1. Research boundaries: Identification of four subsystems

In this article, we consider metropolitan port areas as complex systems, in which different subsystems are embedded. Land use and cover changes have been defined as one of the relevant indicators of socioecological transitions (Redman *et al.*, 2004, Haberl *et al.*, 2006). For Verburg *et al.*, (2009), land change cannot be understood without considering the layer of soil and biomass (land cover), the purposes for which humans exploit the land cover (land use), and the provision of goods and services offered by the land system (land functions). Urban, agricultural, natural, and industrial areas can be considered in terms of the functions they provide to society, based on a wide range of activities. Land use is thus closely interconnected with time use. Time use corresponds to demographic data concerning the structure of activities and employment that are crucial factors influencing land use types and intensity and the transformation of land cover (Ohl *et al.*, 2007). We thus assume that the metropolitan port area can be divided in four main subsystems (Figure 34): an urban – U – subsystem (characterized by temporary and permanent residential activities, including tourism), an agricultural – A – subsystem (both agriculture and aquaculture), an industrial – I – subsystem (combining inland industrial activities as well as logistics and port industries), and a final subsystem representing natural areas (including the management of natural terrestrial and marine areas). In the Aix-Marseille metropolitan port area, the industrial port area represents 3.2% of the total surface area (industry represents 10.5% of the jobs in the territory), the urban area 12.5% (for 69% of the jobs in the urban area), and the agricultural area 29% (less than 1% of the jobs). The remainder corresponds to forest and wilderness areas (some of which are protected). Over time, the areas occupied by these subsystems have changed.

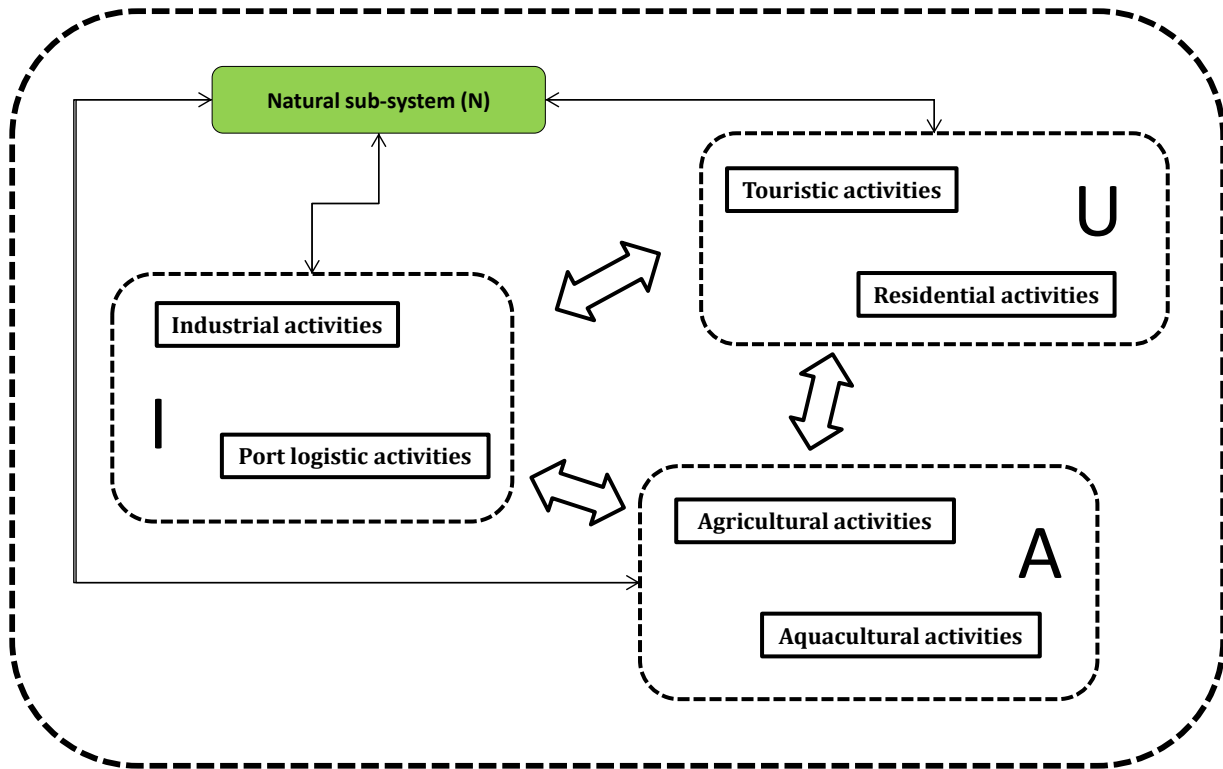


Figure 34 - Definition of subsystems included within the scope of our study

This aggregation of subsystems (Wallner, 1999) in metropolitan port areas leads to a concentration of many different issues (Krugman, 1995). The challenges of management and sharing resources are indeed exacerbated by the coexistence of industrial, agricultural, urban, and tourism in coastal areas that are now protected. As a result, many conflicts are concentrated in metropolitan port areas concerning the management of elements such as energy, water, waste, land surfaces, and biodiversity. We must therefore seek to rationalize the use of resources (water, energy, etc.) by the different stakeholders, and manage a wide range of environmental issues including related discharges (gas emissions, liquid effluents, solid waste) in air, land, inland, and marine waters at a local scale. From the perspective of optimizing the management of resources, the multiplication of interactions among these subsystems can be considered as a lever that increases the overall complexity of the system.

Since this article aims to assess the evolution of a metropolitan port system over time based on a complexity analysis perspective, a temporal scale must also be defined. As for energy issues, three main periods have been identified that are coherent with the main timelines defined by local strategies and projects:

- T0 (2000 to 2012): immediate previous period,
- T1 (2012 to 2018): current and short-term period,
- T2 (after 2018): a mid- to long-term period,

2.2. Theoretical and methodological framework: complexity and co-evolution

Evolutionary processes lead to a general increase in complexity in each subsystem and within the whole system. Wallner (1999) states that the complexity of a system, combining diversity and connectivity, can be increased at all levels of aggregation (local, urban, regional, national, international, and global). In order to assess complexity, we will refer to the following system parameters:

- *Diversity*: Ashton (2009) illustrates how diversity is a strategic criterion for assessing the level of sustainability and the resilience capacity of regional industrial ecosystems. Since we focus on

energy issues, we will address the level of redundancy of functional energy in an industrial system that could influence its capacity to adapt to the energy mix of each subsystem and the system as a whole. We will not only consider the net imports/exports (net consumption/production) from the system, but the total flows (net activity) including the internal loops. Accordingly, a lower export figure might be proof of an increase in the internal diversification (by the diversification of interactions and a massive mobilization of internal secondary sources).

- *Connectivity*: we will consider the interactions or degree of networking occurring among each subsystem and between the four subsystems (industrial, urban, agricultural, and natural subsystems). Each subsystem has its own evolution dynamics and strategies: the industrial system gradually evolves through cleaner production strategies, the urban system includes sustainable urban strategies, and the agricultural system gradually adopts sustainable and organic farming. Each subsystem thus develops inner interactions. A coevolutionary approach seeks to identify causal interactions between these evolving systems for a transition toward greater resilience (Foxon, 2011). In other words, what are the changes in each of the subsystems that influence those in the other subsystems? And what are the causal interactions between these evolving systems that enhance the overall complexity and resilience of the whole system? Foxon (2011) suggests that key events in the transition may occur through technological changes, the creation of institutions, revisions to business strategies and/or changes in user practices. We thus consider the ongoing evolution in the Aix-Marseille metropolitan port area based on Foxon's insights into coevolutionary interactions and dynamics, referring to these five key coevolving factors: technologies, institutions, business strategies, user practices, and ecosystems.

In order to assess the diversity and connectivity influencing the complexity of the system studied, we use a descriptive and quantitative approach. A database has been built for that purpose using MFA formalism for the whole metropolitan area. This approach enables the composition of the energy mix and the density of interactions in the exchanges of physical flows within the system to be assessed for each subsystem and each period using:

- *Diversity indicators*: the diversification of energy sources from outside and the improvement of the use of material flows inside (by creating loops and mobilizing secondary raw materials – SRMs – in the system)
- *Connectivity indicators*: the creation and development of physical interactions (exchanges) within and between the subsystems in our study.

3. Results

3.1. Current local material interactions between stakeholders dealing with energy issues (T0)

Energy diversity: predominance of external fossil energy sources

The Aix-Marseille metropolitan port system is characterized by a significant level of external dependency on fossil energy sources: 47% of the overall local consumption (11.3 Mtoe/year) is based on primary fossil energy sources, coming from outside via the port facilities. Figure 35 shows the importance of hydrocarbon flows (coal, oil, and LNG) managed in the overall port traffic for 50 years. Even if the Marseille port authority presents the port as a generalist port, able to handle all kinds of goods (hydrocarbons and bulk liquids, such as oil, gas and chemical products, general cargo including containers and other packaging, and solid bulk like minerals and cereals), in 2012, the Marseille port was the 3rd largest oil port in the world with 52.74 million tons of hydrocarbons, which is 60% of the total port traffic of 86 million tons. Adapting to the new context of supply and demand in the 1980s, the refinery sector started converting its operations by reducing its internal energy demand, and making a transition toward the production of gasoline and diesel fuel (Mat et al, 2015). LNG also became a new energy source managed by the port area, through the Fos Tonkin LNG terminal, created in 1972, and the new Fos Cavaou LNG Terminal, opened in 2010. Even if LNG equipment had been developed, LNG traffic did not increase dramatically (0.9 million tons in 1973, 3 million tons in 1983, and 5 million tons in 2009).

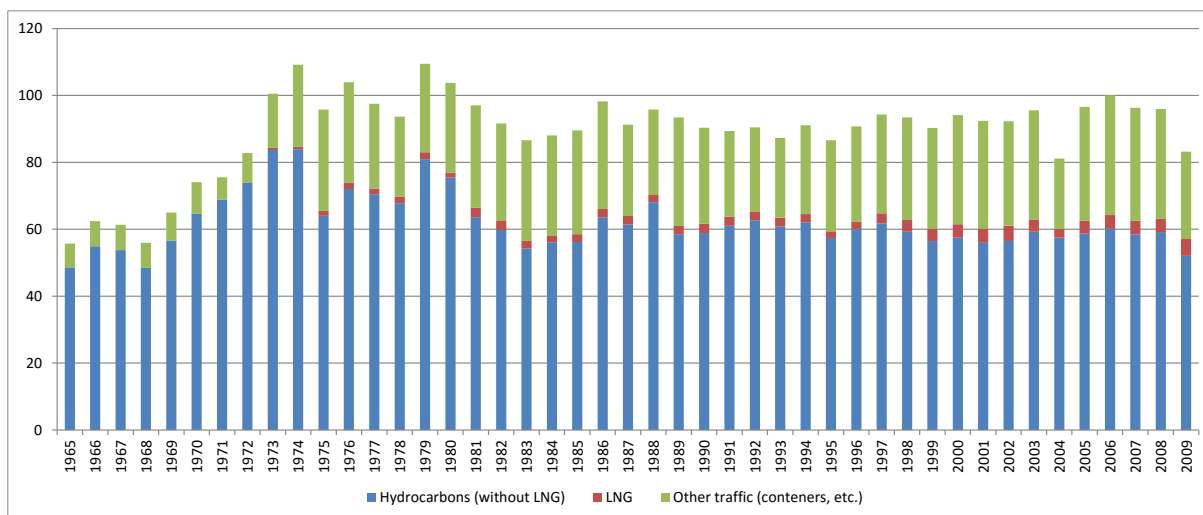
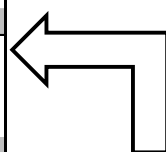


Figure 35 – Evolution of Marseille port traffic (assessed in Mtons) since the mid-20th century

The Aix-Marseille Provence metropolitan port area has been experimenting with initiatives to achieve a low-carbon future, by developing a strategy aiming to increase energy efficiency, innovation and synergies at the metropolitan scale, in order to rebalance the energy input (6.55MWh / year/ capita) and output (local production: 2.18MWh / year/ capita). Currently, there are two main complementary actions implemented locally to improve this energy efficiency: the improvement of the local system and the mobilization of new local resources. Local energy production stands at 0.77 Mtoe/year, and two main kinds of sources are being used or reused:

- Renewable energy sources (0.25 Mtoe/year), like hydraulic power, on-shore wind power (a capacity of 33 MW through 29 turbines implemented in the metropolitan area in South and North Caban during the last decade), and photovoltaic production (with 1.7 MW roof top PV capacity implemented in the Distriport area in 2010).

| ENERGY PRODUCTION IN AIX-MARSEILLE-PROVENCE METROPOLE | | Primary energy in toe/year |
|---|----------------------|----------------------------|
| Type of energy production | Electricity | 657 012.62 |
| | Heat | 88 216.30 |
| | Fuel | 32 507.25 |
| TOTAL | | 777 736.17 |
| Technical process used for production | Renewable energy | 246 411.23 |
| | Heat production unit | 352 261.05 |
| | CHP | 167 863.80 |
| | Waste incinerator | 11 200.09 |
| TOTAL | | 777 736.17 |



| ENERGY PRODUCTION IN AIX-MARSEILLE-PROVENCE METROPOLE | | Primary energy in toe/year |
|---|---------------|----------------------------|
| Renewable energy sources | Large hydro | 193 467.76 |
| | Small hydro | 4 433.71 |
| | PV | 2 145.66 |
| | Biogas | 36 842.80 |
| | Thermal solar | 2 573.13 |
| | Wind power | 6 948.19 |
| TOTAL | | 246 411.23 |

Figure 36 - Energy production in the Aix-Marseille-Provence Metropolitan area

- The secondary raw material flows (1.16 Mtoe/year), such as used solvents, blast furnace gas, and oil engine waste, are mainly provided and reused by local industrial processes (1 Mtoe/year), but also come from the urban area (municipal waste that is incinerated to produce electricity).

Connectivity: compartmentalized interaction strategies

Initiatives to reduce external energy inputs are very compartmentalized: the urban area is experimenting with some new vehicles to reduce fuel consumption, and the municipalities are trying to improve the insulation of buildings. The industrial sector has dramatically improved its energy use since the 1970s, with the development of major industries in Fos, Lavéra, and Berre, the optimization of processes was integrated and flow exchanges developed between companies (Mat *et al.*, 2015). Some industrial symbioses were also developed (I-I interactions): in 1972, the Air Liquide company started using the frigorific (cold) released during the regasification of the LNG received from the Gaz de France terminal. Currently, 32% of the LNG is locally regasified through an industrial hot water loop with Air Liquide. Inter-industry synergies were also developed between Ugine Acier and Solmer, and Naphtachimie and ICI (Kinsey, 1978). By closing loops, these synergies make the system less dependent on external resources, thus making it more resilient. However, today these synergies represent only a small percentage of the total energy flow.

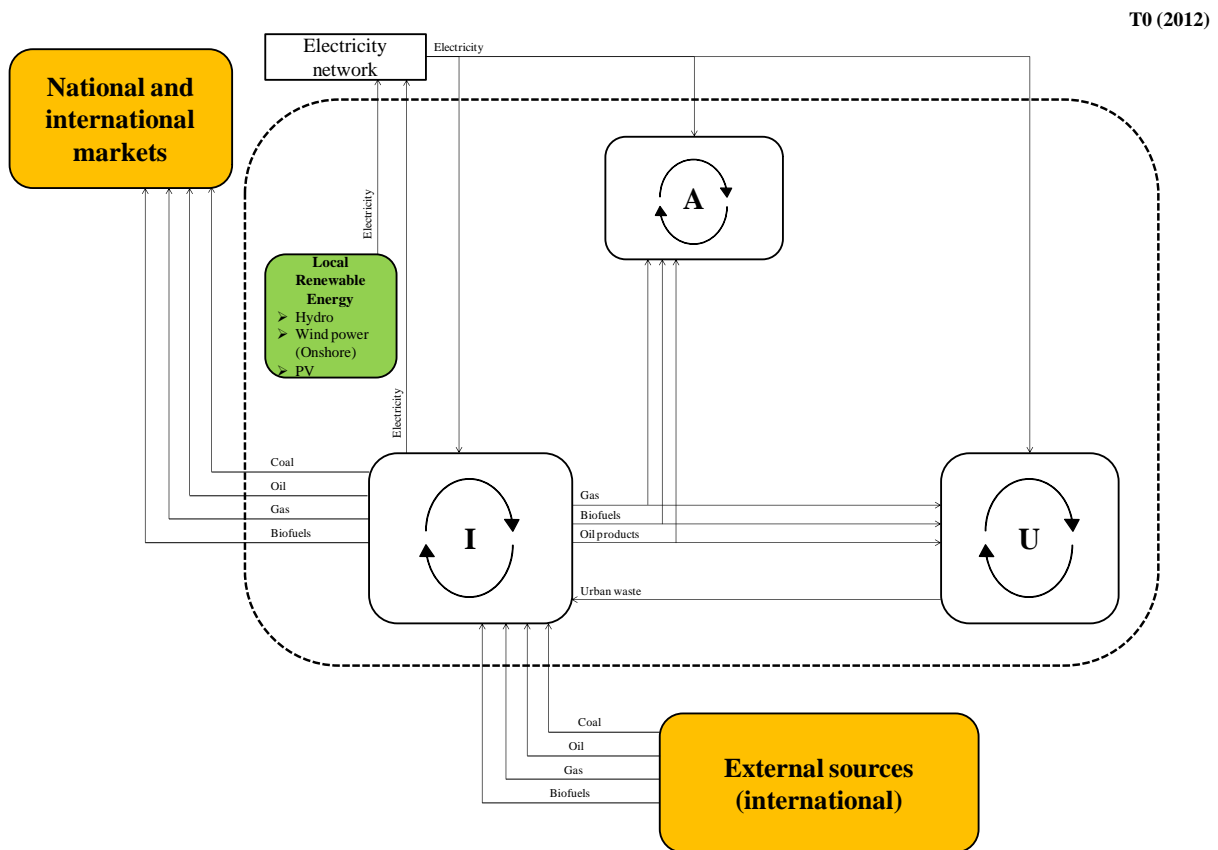


Figure 37 – Subsystem interactions until 2012 (T0)

Interactive causes of the evolution and co-evolution of subsystems

For many decades, the specialization of the Marseille Port on fossil energy was a real strength, but the early 2000s could mark a turning point in Marseille’s socio-ecological regime toward a new transition (Mat *et al.*, 2015). The exogenous and endogenous factors in the transition that has occurred since the early 2000s can be understood using Foxon’s coevolutionary framework (2011).

The first indicator refers to technologies for transforming energy. The reduction of hydrocarbon traffic by 10 million tons between 2008 and 2009 was considered to be an oil shock locally (Vinzent, 2014). This

change could challenge the role of Marseille's port as an importer of fossil fuel energy, and this activity may become a weakness in a global trend in which there is pressure on fossil energy sources due to the need to mitigate climate change. In 2011, the closing of the LyondellBasell refinery was announced and different refineries were threatened to be shut down or to a significant decrease in activity. At the same time, the overall trend in the raw material market and the reorganization of the steel industry internationally may jeopardize the future of the steel industry in Fos, a major local user of energy (coal and electricity).

The second indicator concerns the institutions structuring human interactions and governance, and their impacts on the business strategies that organize activities for economic purposes. Nationally, the new port reform in 2008 redefining the role of French port authorities had an impact on port management. Focusing on issues of local planning, economic development, and multi-modal connections, ports were invited to reconnect with their local context and especially re-build the port-city interface. (Mat *et al.*, 2015). At the same time, the project of creating an Aix-Marseille-Provence metropolitan area, took on a new dimension with the creation in 2012 of an inter-ministerial committee for the definition and development of the metropolitan project, to go beyond the polycentric spatial and economic organization of the area in order to rebuild territorial coherence at the metropolitan level with local stakeholders (Mat *et al.*, 2015). A specific part of this "top-down" mission deals with the energy transition in the metropolitan area: considering that the metropolitan area only produces 7% of the energy it consumes, which only includes 2.1% in renewable energy, the objective is to move toward a local energy balance by making the most of local sources of energy (MIPPM, 2013). As industrial ecology is involved in the metropolitan strategy, fostering projects with attractive industrial synergies for new activities, and encouraging better port-city nesting through the implementation of energy exchanges between industrial and urban areas implies an evolution in the local function of the port, which will move from an importer of energy to an energy producer and operator (Mat *et al.*, 2015).

The last indicator refers to user practices and patterns of behavior relating to human values and needs. It concerns local awareness of environmental impacts and local health issues, related to industrial emissions around the Etang de Berre and Fos area, due to the mobilization and growing opposition from local people and NGOs fighting against new industrial projects (Fos 2XL, LNG Terminal, etc.). As a consequence, all the governmental agencies launched projects concerning environmental and health studies or climate change mitigation. Environmental regulations also evolved to establish some limits in terms of CO₂ emissions, reduce energy use, and introduce more renewable energies.

3.2. New perspectives and opportunities for stakeholders dealing with energy issues (T1-T2)

In accordance with the European guidelines for energy and climate change issues, draft legislation on the energy transition to green growth is currently being discussed in France (Assemblée Nationale, 2015). This national legislation contributes to the development of new local strategies for limiting greenhouse gas emissions and adopting a new energy mix, which will foster the emergence of new opportunities (green growth). Implementing national objectives at the regional level, the Air Climate-Energy Plan of the Provence Alpes Côte d'Azur Region (SRCAE, 2013) defines the regional guidelines and targets with respect to the 2020-2050 horizon for limiting greenhouse gases, controlling energy demand, developing renewable energy, combating air pollution, and adapting to climate change. Achieving this overall goal will require the combination of two factors: a 50% decrease in the energy consumption in the Region between 2007 (13.8 Mtoe) and 2050, and the development of renewable energy that will cover 2/3 of the regional energy consumption by 2050.

Since 2012, metropolitan energy issues have been defined by two areas of complexity:

- Energy diversification through the mobilization of local resources, from renewable sources (wind, solar, and geothermal) and from waste (considered as secondary raw material) produced by industry, agriculture, and urban areas. These local resources have been identified and their potential assessed by the Region, which has new powers for driving forward innovative local regulations in the field of energy savings and the development of renewable energy. The region has proposed a prospective view in order to improve its energy mix.
- Local connectivity implemented through the development of new functional interactions between subsystems, in terms of exchanges of material flows and information flows (between stakeholders). The metropolitan dynamic seems to be able to densify and promote an organized

proximity between institutions and local organizations as defined by Torre (2014). For instance, one major workshop dealing with industrial ecology and the energy transition in the framework of the metropolitan project development is managed by the Director of the Marseille Port Authority. This kind of involvement of local decision-makers (from the Port authority board, the Chamber of Commerce and Industry, etc.) in the management of strategic projects is used to better mobilize local stakeholders. In terms of material exchanges, the metropolitan scale allows the current synergies between subsystems to be better highlighted (such as the exploitation of urban waste for local energy production in the Fos industrial area)

We will analyze two periods to illustrate this trend: an intermediate period (T1) from 2012 to 2018 corresponding to trial experimentations, and a medium- and long-term period (T2), after 2018, dedicated to industrial and large scale implementation of successful approaches.

T1: local energy diversification experimentations and gradual connectivity between industrial and agricultural subsystems

During this period, some projects (geothermal energy in La Feuillane, and thermal sea power production in Marseille) have been developed in the Aix-Marseille metropolitan area in order to create alternatives to traditional fossil energy sources. Other experimentations (Moine and Géraud, 2013) have been implemented like a test site for floating wind turbines (one onshore prototype in 2013 and two prototypes at sea in 2015), CO₂ collection and recycling through the Vasco project and first energy research experimentation in the field of “Power-to-gas” and “Power-to-liquids”. The Vasco I project has been developed to better manage the industrial emissions of CO₂ in the port authority area, by exploring various alternatives such as collecting and exporting liquefied CO₂ by sea for injection into oil reservoirs, or transporting it by pipeline and storing it in saline aquifers, biosequestration of CO₂ with the production of algae potentially recoverable for human feed and biofuel production, and the exploitation of CO₂ in a chemical unit for industrial applications. This final alternative is currently being tested in a semi-industrial pilot project to better assess and validate its economic potential before industrial scale development. Since 2012, through the APICE project, the port authority of Marseille has also had a single tool for measuring the air emissions produced by maritime traffic, and for modeling the evolution of emissions in some areas like the electricity used by ships that are docked, and the conversion to LNG to power ships.

Since 2014, local stakeholders have also been involved in a large industrial project, through the industrial and innovation platform of Caban-Tonkin (PIICTO), in a 1200 ha area located in the Fos industrial port. The PIICTO association brings together nine companies, the Port authority, the relevant national and regional administrations (the DIRECCTE and DREAL, the Regional Council of Provence-Alpes-Côte d'Azur, the SAN Ouest Provence authority, the French agency of Environment and Energy (ADEME)), and the Mediterranean Union of Chemical Industries (UIC). It aims to consolidate existing industrial ecosystems and to increase the region's attractiveness for new activities by developing new industrial ecology synergies between stakeholders (plug and play approach), like a steam network to exploit locally (by industry) the heat produced (nearly 150 t/h) by the waste incinerator and other companies (Solamat Merex, etc.), and some research projects on the Innovex platform (Vasco II project, Power-to-gas by GRT Gaz, etc.). The PIICTO project is the result of two main factors: First, the evolution of the national legal framework applied to economic platforms with the introduction of technological risk prevention plans (PPRT), which allow industry to create synergies between themselves to limit risk and develop new local economic opportunities. Second, the aborted project to welcome a US factory specializing in carbon fiber has nonetheless contributed to triggering a dynamic in the region, to making stakeholders realize that an integrated platform strategy was adequate, and to enhancing the competitiveness of the industrial chemical sector at an international scale (Bayard, 2014).

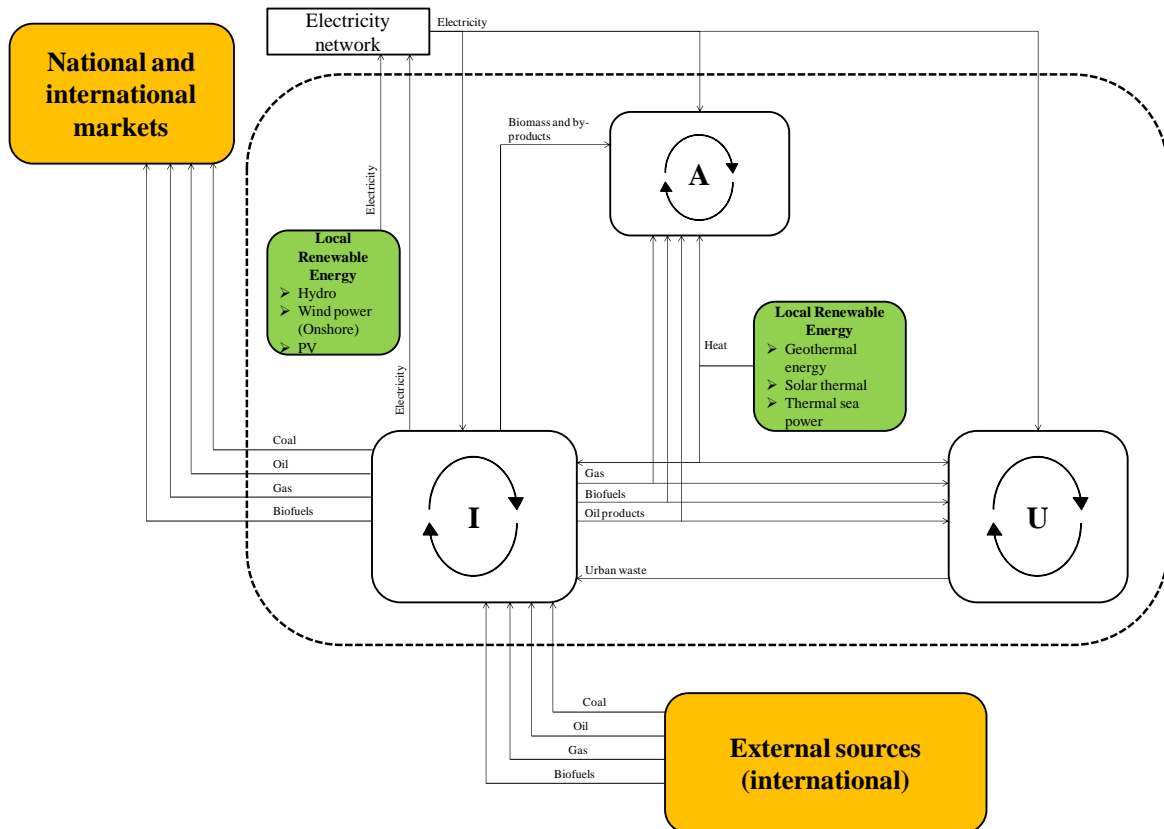


Figure 38 - Subsystem interactions from 2012 to 2018 (T1)

In terms of connectivity among the different subsystems, some synergies are being assessed and developed between the industrial and the agricultural subsystems through the reuse of by-products (Figure 38) from energy and non-energy plants. For instance, several kilotons per year of calcium carbonates coming from the regeneration of lime, 15 kt/year of ash from wood boilers, 11kt/year of sawdust from wood cutting operations, as well as compost from green waste and sludge are reused in agricultural activities.

T2: towards a new deal of interactions and energy diversification at the metropolitan scale

The potential of new raw materials is being studied in scenarios shared and discussed by metropolitan stakeholders. Offshore wind power could become one major local renewable energy resource to produce green electricity in the Aix-Marseille metropolitan area. Other resources such as biomass (algae, wood, and agricultural waste) could be also used to provide raw local resources to the chemical industry (to produce biofuels in La Mède) and to produce electricity locally. According to this trend in the use of local resources, new interactions in conjunction with energy issues are expected. Municipal and agricultural waste burned in the incinerator located in the Fos area or other CHP plants could be transformed into electricity, and also generate heat to provide a steam network for the PIICTO platform, and in the long term to cover urban and agricultural needs (I-U and I-A interactions).

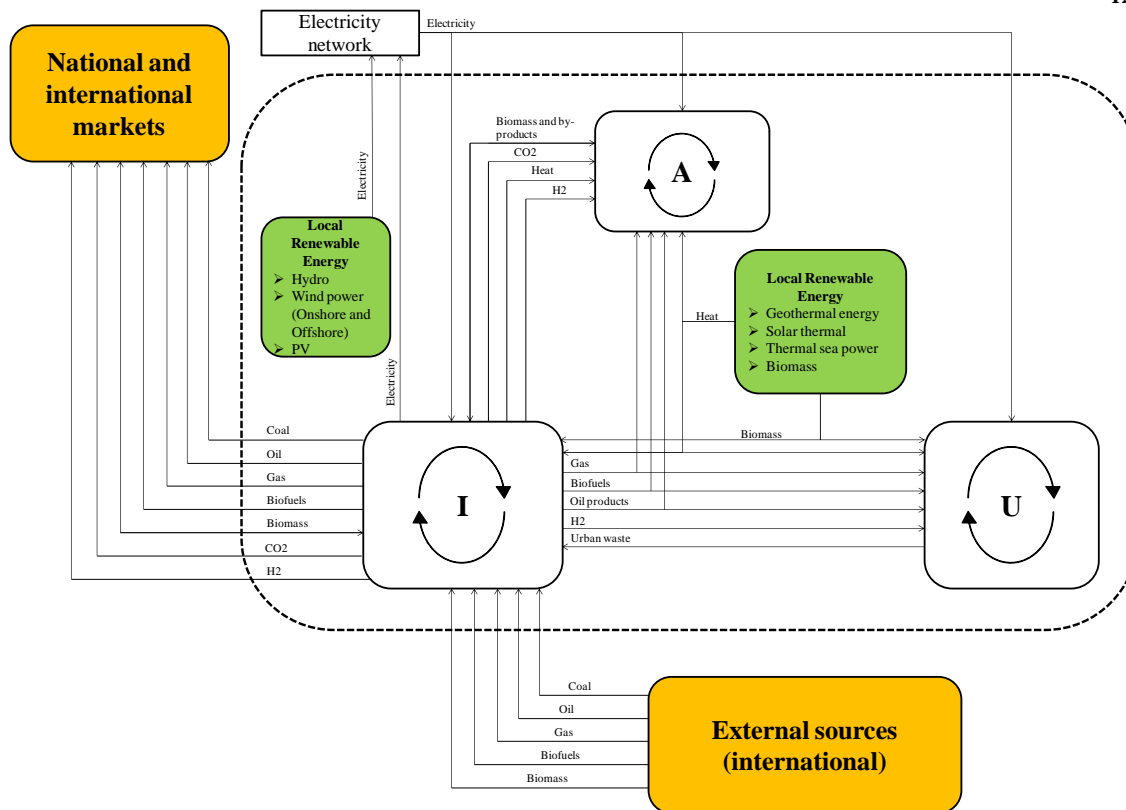


Figure 39 - Subsystem interactions expected after 2018 (T2)

The offshore wind power site in the Fos area produces electricity, and also constitutes an interesting and isolated shelter that could be used to accommodate aquaculture production (I-A interactions). Moine et Geraud (2013) have shown the expected capacity of the industrial port area to develop some new recycling loops and interactions within the industrial subsystem. These new pathways strengthen the role of the port area to achieve a more complex industrial system, which is able to both effectively exploit CO₂ and to use renewable and fossil energies. This T2 scenario is very close to the “bio-industry and renewable focus” scenario designed and described by Giurco *et al.* (2014) in Latrobe Valley, Australia, in which the industry and manufacturing sectors provide energy to agricultural and residential users.

3.3. Overview of complexification and coevolutionary processes

Complexification processes

Appropriating Wallner’s framework (1999), we consider complexity as a combination of energy diversification processes and the development of intra- and inter-connectivity among industrial, agricultural, urban, and natural subsystems. We provide an overview of the evolution of complexity from 2000 in the Aix-Marseille metropolitan port area in Table 13.

Table 13 - Overview of complexification processes

| | T0 | T1 | T2 |
|-------------------------|--|---|---|
| Energy diversity | <p>+/- (level 1) Low diversity (mainly fossil energy mix) but some first R&D projects on renewable energy systems and beginning of SRM reuse (oil engine</p> | <p>++ (level 2) Diversification of energy mix by mobilization of local resources in energy systems implemented at a large scale (geothermal production, solar</p> | <p>+ (level 2/3) Use of new technologies and development of new pathways (power-to-gas, power-to-liquids, etc.)</p> |

| | | | |
|---------------------|--|--|---|
| | waste and urban waste, blast furnace gas, etc.) | systems, on-shore and off-shore wind power, etc.) Second stage of R&D projects (VASCO 2 concerning algae production; solar systems; off-shore wind power, etc.) | |
| Connectivity | +/- (level 1) Low connectivity with few interactions existing between I, A, and U subsystems Energy efficiency improvement mainly implemented within each subsystem (I and A) | + (level 1/2) Beginning of new interactions between I, A, and U subsystems (mainly biomass and by-products) Study of a heat network (PIICTO platform) | ++ (level 2/3) Development of interactions between I, A, and U subsystems (CO ₂ , heat, H ₂ , etc.) at the metropolitan scale and beyond. |

The complexification process entails different phases which are characterized by different levels of diversity and connectivity. The diversification of the energy mix by increasing the use of local resources (renewable and by-products) is the current strategy (especially seen in phase T1) being implemented to complement the fossil energy mix (even if the proportion of “green” energy sources remains limited in the overall energy mix used). It could be a real challenge to reuse SRM in our current industrial society where large quantities of waste are still landfilled (Duic *et al.*, 2015). This would result in increased redundancy in the whole industrial system. A direct consequence of waste to energy transformation is that each component in a subsystem using these new sources is less vulnerable when there is tension on one of its external sources. Another current challenge is based on the implementation of power-to-gas technologies at an industrial scale, which introduces a future and growing interconnection (especially seen in phase T2) between the various energy vectors and networks. For example, wind power can be used to produce H₂, which can be injected into the natural gas network, which acts as a storage unit before it is used as fuel or to produce heat and electricity. As a result, phase T0 is characterized by low diversity and connectivity (level 1). Phase T1 is characterized by increasing diversity (level 2), while phase T2 features higher connectivity (level 2/3).

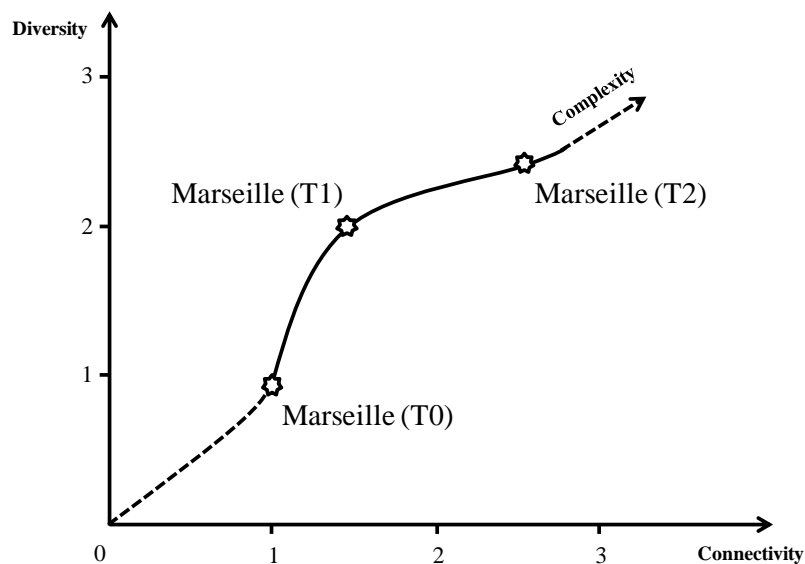


Figure 40 – Trend in complexity in the Marseille port area

Coevolutionary processes

We have illustrated the on-going process in the Aix-Marseille metropolitan area through Foxon’s insights into coevolutionary interactions and dynamics (2011), through five key coevolving factors (technologies, institutions, business strategies, user practices, and ecosystems). We provide an overview of the evolution of these factors in **Erreur ! Source du renvoi introuvable**. Table 14.

Table 14 – Overview of coevolutionary processes

| | T0 | T1 | T2 |
|----------------------------|--|--|--|
| Technologies | Renewable energy systems (hydraulic power, on-shore wind power, and photovoltaic production) | Diversification of energy mix production by mobilizing local resources (renewable energies and by-products) Development of energy recuperation networks Development and implementation of prototypes (algae production, solar systems, off-shore wind power) | Use of new technologies and development of new pathways (power-to-gas, power-to-liquids, etc.) |
| Institutions | Port reform Metropolitan project building | Increased legitimacy of governance at the Metropolitan scale Discussion workgroups integrating stakeholders from all subsystems | Metropolitan management involving stakeholders from all subsystems |
| Business strategies | Usual individual business models (B to B) | Cooperation platform (PIICTO association) | Currently unknown |
| User practices | Few interactions between I, A, and U subsystems SRM reuse (solvents, blast furnace gas, oil engine waste, and urban waste) Energy efficiency improvement within each subsystem | Beginning of interactions between I, A, and U subsystems (biomass and by-products) Cascades of use of energy vectors (heat, cold, etc.) | Development of interactions between I, A, and U subsystems (CO ₂ , heat, H ₂ , etc.) |
| Ecosystems | Conflicts over resources (land, water) between subsystems | Global carbon emissions mitigation Secondary resource optimization to release pressure on primary resources | Global carbon emissions mitigation and expected air quality improvement Full integration of the four subsystems in the development planning of the area |

A main driver in the evolution in the Aix-Marseille Provence metropolitan area toward a low-carbon energy future seems to be at the institutional level, through the emerging metropolitan dynamic that is prompting the development of new interactions between subsystems. Through this metropolitan strategy of developing interactions and diversifying the energy mix, the system still seems to consume resources from outside but limits its negative output. From a metabolism point of view, the system seems to be more efficient because the flows are better used and reused internally, and the local system is also beginning to produce a value-added energy flow.

4. Discussion

4.1. Learning from a rapid comparison with other metropolitan port areas

In previous research, we compared the historical evolution of the Aix-Marseille metropolitan port area with Ningbo in China and Ulsan in South Korea (Mat *et al.*, 2015). Our results show that changes in the primary sources of energy presupposes the growing integration and functional complexity of port-city socio-ecological systems and the growing interconnectedness between local port-city components (port-related companies with urban and agricultural activities). For instance, in Ningbo, the heat network supplied by the Beilun Power plant and Ningbo steel meets industrial as well as urban and agricultural energy needs. In Ulsan, SK energy provides heat to industries today, and is planning to supply heat to neighboring urban districts. In these two cases, the goal was a more efficient use of energy by establishing links between subsystems, because the improvement was not possible within a single subsystem. The final result of subsystem interconnection could make the whole region more resilient and less vulnerable

in the context of the energy transition, with a real capacity to adapt (energy mix and connectivity between local economic sectors).

We also show that the historical evolution of the metropolitan port areas studied has followed a similar pathway of state and transition periods to reach their current state. The length of these periods was not similar in each case study. These evolutions are linked to the evolution of energy technologies and sources (hydraulic power, coal and oil, etc.). Our in-depth analysis of a specific case study reveals that this time discordance also affects different subsystems and stakeholders within the same metropolitan port area. The Aix-Marseille Provence metropolitan area's dynamic is indeed characterized by the co-existence of independent initiatives (wind power, PV, H₂ production, etc.) running at the same time as large projects (industrial scale) and small projects (micro-initiatives implemented by actors) to foster this energy transition. This particular example raises the question of the co-existence of projects, and thus the links between these initiatives in order to reach a more sustainable and stable state.

Following the findings described by Beau *et al* (1978), who already considered the port of Marseille as a relevant laboratory for future changes, we can assume that the current evolution and adaptation taking place in the Marseille port area can still help us to understand global changes in industrial societies that are moving toward a post-fossil fuel energy system (Burke, 2009). In the T1 and T2 scenarios imagined for the different dynamics described in this article, Marseille should also achieve this level of efficiency in terms of resource management. We may consider the current situation in the Aix-Marseille case study as a new transition, even though there is no increase in total material and energy flows, which may appear to be a limiting factor. Accordingly, the increase in the complexity, and in the energy required to sustain it (Tainter, 2011), require a more efficient use of the resources available. However, as transitions are characterized by structural changes, it seems difficult to assert that the interactions we are observing between the subsystems, and the improvement and interpenetration between different networks (smart electrical grid, gas and petrol pipelines, heat networks, power-to-gas, etc.) will lead to real changes in the functioning of the entire system.

4.2. Increased complexity and resilience: the evolution of CO₂ emissions in MWh

Table 15 shows the evolution of CO₂ emissions from a scenario based on landfill management (before T0), with no valorization of waste produced in a metropolitan area, to a first step in local energy management improvement through the production of electricity by an incinerator (T0), with a ratio of 2.38 tons eq. CO₂/MWh, which is an indicator of the emissions per unit of energy produced. However, in 2012, before the metropolitan development here, the incinerator plant was still considered to be disconnected from the urban area. A next phase (T1-T2) consists in reaching higher levels of efficiency (0.32 tons eq. CO₂/MWh) by producing and valorizing locally the electricity and the heat power produced by the incinerator plant, which becomes a real combined heat and power unit included in an energy strategy at the metropolitan scale.

Table 15 - Evolution of the role and efficiency of an incinerator plant in the local energy strategy

| | Waste management | CO ₂ emissions (tons eq. CO ₂) | Energy valorization (MWh/year) | Ratio CO ₂ /energy produced (tons eq.CO ₂ /MWh) |
|-----------------------------|--|--|-----------------------------------|---|
| Before T0 | Landfill | 484 794 | 0 | - |
| T0 | Incinerator with production/valorization of electricity | 309 800 | 130 257 | 2.38 |
| T1-T2 (expected) | Incinerator with production/valorization of electricity and heat | (309 800) | (966 675) | (0.32) |

Frigories (cold), currently reused and valorized in a nitrogen production plant in the Fos Tonkin area, could also be used in agro industrial processes for the transformation and conditioning of agricultural products, in order to increase the market value of these products before export. In this scenario, the CO₂ produced in the port industrial area (11 M tons per year) would become a flow reused in agriculture (greenhouse production, as is the case in the Zeeland seaports in the Netherlands), and aquaculture (production and feeding of algae). One major characteristic of the T2 phase is that the Aix-Marseille metropolitan area would become a real producer of energy (electricity but also heat, H₂, and CH₄ synthesis) to complement the energy mix from fossil sources, by mobilizing local resources and developing interactions between industrial, agricultural, and urban subsystems. To achieve this scenario, the strong commitment of public and private stakeholders is needed to assume the cost of networks to drive energy and material flows (such as heat and CO₂). It is difficult to imagine such an investment today, because the cost of fossil energy is very low. A long-term return on investment must be imagined to assess the global cost of this infrastructure. Accordingly, this goal can only be fulfilled with the strong commitment of the local, regional, and national governments.

Indeed, in the scenario described in Figure 39, the industrial subsystem becomes a hub of flows coming from other local subsystems (urban and agricultural) and allows the transformation and production of new energy flows, through cogeneration and methanation processes. The strength of this complex approach is that the production of H₂ by the electrolysis of water ultimately produces electricity using renewable energy sources during production capacity peaks. A second plant gathers this flow of H₂ with the flow of CO₂ in order to produce CH₄ (methanation process), which can be stored in the methane network already set up at a large scale (ORECA, 2013; Boucly, 2014). This power-to-gas solution, which has been studied and monitored by national institutions (Kalinowski and Pastor, 2013), contributes to making energy production solutions based on renewable sources more flexible and in a form that is easier to use like methane. H₂ can also be directly stored in the methane network system in a proportion of 6% in current networks, and at a maximum of 20% after adapting the networks. H₂ and CH₄ can also be produced locally using biomass methanation processes.

4.3. Remaining issues in terms of complexity and resilience

The improvement of the current industrial system by increasing complexity may not be sufficient in terms of sustainability (for instance with eco-industrial parks, if they only consist of synergies around waste and cascading energy, and not a complete implementation of the industrial ecology concept). Even if a variety of definitions of industrial ecology have been proposed since 1990s, we can cite White (1994), who summarized industrial ecology as “the study of the flows of materials and energy in industrial and consumer activities, of the effects of these flows on the environment, and of the influences of economic, political, regulatory, and social factors on the flow, use, and transformation of resources”. He considers that we can speak about the real maturity of an anthropogenic system, and its sustainability, when the organization and structure of this system can function after fossil resources that cannot be perennially imported have been partially or totally excluded, by using more local and regional resources. By analogy with an ecosystem, the juvenile stage is based on only one fossil energy, whereas the more mature stage occurs through energy diversification (renewable energy, fossil energy) and the reuse of by-products within the system). The question of maturity can thus be addressed as follows: what increase in the energy recycling/energy input ratio can be achieved? But maturity is not equivalent to sustainability by definition. They converge only if the supplies are not limited in time. A very mature system like a rain forest is sustainable as long as the rain levels are stable. If the rain stops due to climate change, the mature rain forest is no longer sustainable. Wallner (1999) warned that if the industrial system builds and maintains its structure and level of complexity by relying only on increasing use of fossil energy sources, then it is rather a simulated complexity, in spite of a wide variety of companies and networking or strong interactions between them. The key question is not about the fact that complexity is being built using fossil energy, but that this fossil energy is not a reliable supply. If our entire system is based on an energy supply that is not perennial, then the entire system is not perennial.

Meanwhile, Tainter (2011) argues that societies adopting increasing complexity to solve problems become more costly. He highlights the fact that every society tries to perpetuate itself, which is the same idea for most organizations: survival is the ultimate goal independently of the original goal. When facing a threat, society increases its complexity by developing specialized functions, and by doing this, it uses more energy. Accordingly, the maximum level of complexity that can be reached depends on the amount of energy that can be mobilized. Likewise, there is a point at which the original goal of sustainability for the

organization is not “sustainable” for the members of the organization, and the system collapses. In biological terms, we can observe relatively similar patterns; the progression from young to mature ecosystems increases complexity, but reduces growth for a given amount of energy. The resources are thus dissipated in regulation patterns. “Conservation policies” will not solve the problems of major impacts, or resource scarcity. We are facing a paradox that has never before been addressed: How can we reduce our energy consumption, which has been the driving force behind our development, without reducing our standard of living? If we accept the terms of this paradox, the solution will be “structural simplification” (like what is going on in the French administration), or structural disruption (such as the disappearance of central coordinated services). Small organizations can be more energy efficient, so we move from big corporations to holdings. Currently, we are arriving at a point at which we do not have abundant and inexpensive energy (or we think we will not have it in the near future, so we need to regulate energy pathways). Following Tainter (2011), we consider that increasing complexity requires more energy (or a different use of energy if the flow is limited) and if there is a supply (energy, materials...) it will support growth and will be used immoderately (the drama of the commons).

5. Conclusion and perspectives for the social sciences

This article analyses the current trend in the Marseille port area toward a low-carbon future. We have described the main drivers and barriers that have influenced the dynamics of industrial ecology involving a growing number of stakeholders in the metropolitan area. Of course, low-carbon future pathways are based on innovation and new technologies to produce better and consume less. However, the different stages of evolution described in this article seem to deal with issues beyond only a technological response, which include new modes of cooperation and governance between stakeholders in the port area.

Various interactions between our different subsystems (industrial, urban, and agricultural) are already being implemented, on-going, or expected in the Marseille metropolitan area. In this context, we have used the framework of complexity in order to describe the local dynamic based on two main issues (diversity and connectivity). In spite of the current crisis, the port area of Marseille could become a better adapted and less vulnerable industrial system by developing new forms of self-organized local synergies and by better mobilizing local energy resources (renewable energy sources and by-products). If the implementation of synergies constitutes a concrete process fostering the improvement of resource management, it might be relevant to develop a complementary approach based more on an analysis of informational flows between stakeholders, which could reveal new opportunities for industrial ecology in port and harbor areas.

A future challenge could be to include the immaterial interactions between the three main subsystems considered in our study (I, A, and U) from a social point of view, by developing a dual/hybrid approach, following Duic *et al.* (2015) and Rochas *et al.* (2015) to complete the assessment of complexity introduced here only through material interactions. In order to assess the two main parameters (diversity and connectivity) influencing the complexity of the system studied, it could be interesting to combine a quantitative approach (exchanges of physical flows) and a qualitative approach (informational flows) through a social-material network analysis (Schiller *et al.*, 2014) especially to study the connectivity (Frontier *et al.*, 2004) within the system. Indeed, in the evolution of an industrial system towards sustainability (understood as maturity from an ecological point of view), we argue that the system needs to evolve from one with a material flow metabolism to one with both a material and an immaterial flow metabolism, characterized by the use of energy to maintain its structure and to dramatically increase the exchange of information between subsystems. In industrial ecosystems, interface structures (associations, etc.) thus appear necessary to densify this flow of information exchanged within the local stakeholder network. This approach could involve the academic framework of proximity, and more specifically the organized proximity described by Donsimoni (2015), and based on the critical analysis of different forms of proximity (Gilly and Lung, 2005; Rallet and Torre, 2005; Pecqueur and Zimmerman, 2004), which can be used to better understand the overall dynamics of industrial symbiosis.

6. References :

- AGAM, 2013. Aix-Marseille-Provence : la Métropole en chiffres. Rapport réalisé par l'Agence d'urbanisme de l'agglomération marseillaise pour le compte de la Mission interministérielle en charge du projet métropolitain d'Aix Marseille Provence.
- Anand, M., Gonzalez, A., Guichard, F., Kolasa, J., Parrott, L., 2010. Ecological Systems as Complex Systems: Challenges for an Emerging Science. *Diversity* n°2, 395-410.
- Ashton, W.S., 2009. The structure, function and evolution of a regional industrial ecosystem. *Journal of industrial Ecology* 13(2): 228-246.
- Assemblée Nationale, 2015. Texte de la commission spéciale pour l'examen du projet de loi relatif à la transition énergétique pour la croissance verte. Annexe au rapport. Procédure accélérée. Nouvelle lecture du 16 avril 2015.
- Bale, C.S.E., Varga, L., Foxon, T.J., 2015. Energy and complexity: new ways forward. *Applied Energy* 138, 150-159.
- Beau, J-P., Ferrier, J-P., Girard, N., Richez, J., 1978. Fos-sur-Mer : un espace clé pour la compréhension des changements de la société française. In: Méditerranée, Deuxième série, Tome 34, 4-1978. pp. 27-44.
- Bayard, M., 2014. Article disponible sur le lien suivant: <http://www.industrie.com/chimie/piicto-travaille-sur-la-metamorphose-de-fos.54464>
- Boucly, P., 2014. L'Hydrogène, vecteur de la transition énergétique. Présentation réalisée dans le cadre d'une conférence au Sénat le 7 novembre 2014.
- Bristow, D. and Kennedy, C., 2013. Urban metabolism and the energy stored in cities. *Journal of Industrial Ecology* 17(5): 656-667.
- Bristow, D. and Kennedy, C., 2015. Why do cities grow? Insights from Nonequilibrium Thermodynamics at the Urban and Global Scales. *Journal of Industrial Ecology* 19 (2), 211-221.
- Burke, E., 2009. The big story. Human history, energy regimes and the environment. In: Burke, E., Pomeranz, K. (Eds.). *Environment and World history*. University of California Press, Berkeley, Los Angeles, London, pp. 33 – 53.
- Chen, L., Wang, R., Yang, J., Shi, Y., 2010. Structural complexity analysis for industrial ecosystems: A case study on LuBei industrial ecosystem in China. *Ecological Complexity*. 7, 179-187.
- Chertow, M.R., 2000. Industrial symbiosis. Literature and taxonomy. *Annu. Rev. Energy Environ.* 25, 313-337.
- Clements, F.E., 1916, *Plant Succession*, Carnegie Institute Washington Publication, 242, Washington, DC Connell.
- Clements, F.E., 1936, *Nature and structure of the climax*, *J. Ecol.* 24, p.252-284.
- Donsimoni, M., 2015. Symbioses Port-Ville pour un meilleur ancrage local des activités industrielo-portuaires : l'exemple de Safi au Maroc. In Mat, N., Cerceau, J., and Alix, Y., 2015 (coord.). *Economie circulaire et Ecosystèmes portuaires*. Tome IV de la Collection Les Océanides.
- Duic, N., Urbaniec, K., Huisingh, D., 2015. Components and structures of the pillars of sustainability. *Journal of Cleaner Production*. 88, 1-12.
- Giurco, D., Prior, J., Boydell, S., 2014. Industrial ecology and carbon property rights. *Journal of Cleaner Production*. 80, 211-223.
- Fagnart, J-F., Germain, M., 2015. Energy, complexity and sustainable long-term growth. *Mathematical social sciences*. 75, 87-93

Fischer-Kowalski, M., Haberl, H., Hüttler, W., Payer, H., Schandl, H., Winiwarter, V., Zangerl-Weisz, H., 1997. *Gesellschaftlicher Stoffwechsel und Kolonisierung von Natur. Ein Versuch in Sozialer Ökologie.* Gordon & Breach Fakultas, Amsterdam.

Foxon, T., 2011. A coevolutionary framework for analysing a transition to a sustainable low carbon economy. *Ecological Economics.* 70, 2258-67.

Frontier, S., Pichod-Viale, D., Leprêtre, A., Davoult, D., Luczak, C., 2004. *Ecosystèmes : Structure, Fonctionnement, Evolution.* 3^{ème} édition. Dunod, Paris.

Gilly, J-P., Lung, Y., 2005. Proximités, secteurs et territoires. Cahiers du GRES, n°2005-09.

Haberl, H., V. Winiwarter, K. Andersson, R. U. Ayres, C. Boone, A. Castillo, G. Cunfer, M. Fischer-Kowalski, W. R. Freudenburg, E. Furman, R. Kaufmann, F. Krausmann, E. Langthaler, H. Lotze-Campen, M. Mirtl, C. L. Redman, A. Reenberg, A. Wardell, B. Warr, and H. Zechmeister 2006. From LTER to LTSE: conceptualizing the socioeconomic dimension of long-term socioecological research. *Ecol. Soc.* 11(2): 13. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol11/iss2/art13>

Haberl, H., Fisher-Kowalski, M., Krausmann, F., Weisz, H., Winiwarter, V., 2004. Progress towards sustainability? What the conceptual framework of material and energy flow accounting (MEFA) can offer? *Land Use Policy.* 21, 199-213.

Jacobsson, S., and Bergek, A., 2011. Innovation system analyses and sustainability transitions: contributions and suggestions for research. *Environmental Innovation and Societal Transitions.* 1, 41-57.

Kalinowski, L., and Pastor, J-M., 2013. Rapport au nom de l'office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques. L'hydrogène : vecteur de la transition énergétique ? Assemblée Nationale-Sénat.

Kinsey, J., 1978. The application of growth pole theory in the Aire Métropolitain Marseillaise. *Geoforum,* 9, 245-267.

Krausmann, F., Fischer-Kowalski, M., 2013. Global socio-metabolic transition. In Singh, S.J., Haberl, H., Chertow, M., Mirtl, M., Schmid, M. (ed), *Long-term socio-ecological research. Studies in society-nature interactions across spatial and temporal scale.* Springer, New York London.

Krugman, P., 1995. Urban Concentration: The Role of Increasing Returns and Transport Costs. *Proceedings of The World Bank Annual Conference on Development Economics.*

Mat, N., Cerceau, J., Shi, L., Park, H-S., Junqua, G., Lopez-Ferber, M., 2015. Socio-ecological transitions toward low-carbon port cities: trends, changes and adaptation processes in Asia and Europe. *Journal of Cleaner Production.*

Meerow, S. and Newell, J.P., 2015. Resilience and Complexity. A bibliometric Review and Prospects for Industrial Ecology. *Journal of Industrial Ecology* 19 : 236-251.

MIPPM, 2013. La métropole en marche: les chantiers du projet d'Aix-Marseille-Provence. Document de convergence stratégique n°2. Décembre 2013.

Moine, H., Giraud, J., 2013. *Ecologie industrielle et transition énergétique au sein du Grand Port Maritime de Marseille. Voyage d'étude AIVP à Marseille.* 17 octobre 2013.

OCDE, 2013. Vers une croissance plus inclusive de la métropole Aix Marseille: une perspective internationale. Rapport. Disponible sur sur : www.oecd.org/fr/regional

ORECA, 2013. Etude prospective relative à l'évolution des réseaux de distribution d'énergie. Besoins d'évolution des modèles techniques et organisationnels des réseaux de distribution d'énergie au regard des scénarios de transition énergétique en région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Volet 1 - Hypothèses et perspectives. Version finale.

Ostrom, E., 2009. A general framework for analyzing sustainability of socio-ecological systems. *Sci.* 235, 419-422.

- Pecqueur B., Zimmermann J-B., (coord.), 2004. Economie de proximités, Hermès, Lavoisier, Paris.
- Rallet A. et Torre A. (Eds.), 2007. Quelles proximités pour innover ?, L'Harmattan, Paris, Collection « Géographies en liberté », 221 p.
- Redman, C. L., J. M. Grove, and L. H. Kuby. 2004. Integrating social science into the long-term ecological research (LTER) network: social dimensions of ecological change and ecological dimensions of social change. *Ecosystems* 7:161-171.
- Rochas, C., Kuzn, ecova, T., Romagnoli, F., 2015. The Concept of the System Resilience within the Infrastructure Dimension: Application to a Latvian Case. *J. Clean. Prod.* 88, 358-368.
- Schiller, F., Penn, A.S., Basson, L., 2014. Analysing networks in industrial ecology – a review of socio-material network analysis. *Journal of Cleaner Production.* 76, 1-11.
- Schlör, H., Fischer, W., Hake, J-F., 2014. The system boundaries of sustainability. *Journal of Cleaner Production* 88, 52-60.
- Sieferle, R.P., 2001. *Subterranean Forest Energy Systems and the Industrial Revolution.* White Horse Press, Cambridge.
- SRCAE, 2013. Schéma Régional Climat Air Énergie Provence-Alpes-Côte d'Azur. Document synthétique. Disponible en ligne depuis le 22 janvier 2014 : http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Synthese_VFIN_Basse_Def_cle0bd4d9.pdf
- Tainter, J.A., 2011. Energy, complexity, and sustainability : A historical perspective. *Environmental Innovation and Societal Transitions.* 1, 89-95.
- Torre, A., 2014. Relations de proximité et comportements d'innovation des entreprises des clusters. Le cas du cluster de l'optique en Ile-de-France, *Revue Française de Gestion*, Juin-Juillet, 242, 49-80.
- Verburg, P.H., van de Steeg, J., Veldkamp, A., Willemen, L., 2009. From land cover change to land function dynamics: a major challenge to improve land characterization. *J. Environ. Manag.* 90, 1327-1335
- Vinzent, J., 2014. Un choc pétrolier affecte le port de Marseille-Fos. *Marsactu.*
- Wallner, H.P., 1999. Towards sustainable development of industry: networking, complexity and eco-clusters. *Journal of Cleaner Production.* 7, 49-58.
- Wells, J., 2012. *Complexity and Sustainability.* Oxon, UK: Routledge, 354 p.
- White, R., 1994. 'Preface', in Braden R. Allenby and Deanna J. Richards (eds), *The Greening of Industrial Ecosystems*, Washington, DC: National Academy Press.

3.3. Discussions du chapitre 3 : complexité et transition énergétique des territoires portuaires

3.3.1. Le territoire portuaire : un territoire complexe évoluant entre stratégie d'écologie industrielle et territoriale et stratégie d'économie circulaire

A l'instar des réflexions posées dans le cadre du chapitre 2, sur la co-existence d'une écologie industrielle et d'une économie circulaire au sein des territoires industrialo-portuaires, on constate une dualité de tendances :

- Une tendance cherchant naturellement une certaine forme d'autarcie de fonctionnement (secteurs industriel et urbain notamment) ou de spécialisation (secteurs industriels et agricoles). Van Damme (2014) ou Theys et Emelianoff (2001) présentent par exemple les concepts de ville post-carbone, propre, énergétiquement auto-suffisante, la biopolis, la ville contenue ou ville sobre, qui sont finalement assez recentrées sur elles-mêmes sans envisager les interactions bénéfiques qu'elles pourraient avoir avec les autres systèmes environnants (industriels, agricoles, etc.). Dans le cas de la spécialisation (monocultures agro-industrielles ou espaces industriels spécialisés à grande échelle par exemple), on tend plutôt vers des systèmes finalement peu structurés mais intensément productifs et commerciaux spécialisés dans la « croissance » (système juvénile) et presque entièrement fondés, pour leur permanence, sur de forts niveaux d'exportation.
- une autre tendance plus connectée et basée intrinsèquement sur le caractère d'ouverture (le secteur portuaire). Or, dans le cas de Marseille, l'autorité portuaire se retrouve être un acteur moteur dans le décloisonnement de bon nombre d'approches et d'initiatives au niveau du territoire, bien qu'en interne (au niveau de la zone industrialo-portuaire), il semble aussi y avoir deux mondes qui co-existent :
 - L'espace portuaire logistique, dont la raison d'être est la maximisation des flux échangés (vision globalisée) entre un monde extérieur maritime et un hinterland plus ou moins étendu : Le delta entre le flux entrant et le flux sortant (marchandises traitées) doit alors être le plus faible possible et la notion de distance n'est pas forcément pertinente.
 - L'espace industriel portuaire, dont la raison d'être est l'augmentation de la valeur des biens suite à la transformation et la production de masse via des industries lourdes et/ou des entreprises de transformation secondaire (industrie automobile, aéronautique, chaudronnerie, etc.) : Le delta entre le flux entrant et le flux sortant doit alors être le plus faible possible (démontrant une grande compétitivité et productivité dans sa transformation de la matière première reçue). Il s'avère cependant que les pertes de ce système industrialo-portuaire sont encore importantes et le niveau d'entropie est donc encore loin de renvoyer à un système optimisé, encore moins auto-suffisant. Les stratégies d'écologie industrielle y sont principalement déclinées avec un objectif de gain de compétitivité (ce qui peut bien évidemment contribuer à renforcer leur ancrage territorial et in fine intéresser l'autorité portuaire si les flux gérés localement se pérennisent voire se développent).

Les ports (dans le sens restrictif du mot) pourraient finalement avoir tout intérêt à se maintenir dans un état juvénile pour à la fois rester compétitifs, rester ouverts, renforcer leur capacité d'adaptation (stratégie, organisation, etc.) et être des espaces qui ont un très faible delta entre le flux entrant et le flux sortant (utilisation maximale de l'énergie). Par contre, la zone industrielle attenante, en termes d'écologie industrielle, pourrait avoir davantage d'intérêt à tendre vers un état mature, en cherchant à boucler au mieux les flux sur son espace et à moins dépendre de l'extérieur.

Co-existent ainsi des initiatives pouvant se revendiquer plutôt d'approches d'écologie industrielle et d'autres plutôt d'une économie circulaire. Cela concourt à confirmer les définitions que nous avons proposé en préambule, et à positionner le territoire portuaire (et son aménagement) plus ou moins au service d'une vision et d'une stratégie nationale (Georgeault, 2015):

- L'économie circulaire correspond à une approche macro/globalisée, qui tend à remettre en cause la notion de proximité propre à la symbiose industrielle locale en s'affranchissant plus aisément de la notion de distance, notamment via l'aspect de la logistique maritime. Le territoire portuaire se retrouve mis au service d'une approche stratégique nationale en termes de gestion des ressources qui renvoie au métier premier du port et des entreprises portuaires (gérer et générer des flux, d'où qu'ils viennent et où qu'ils aillent). Cette approche stratégique nationale tend à « instrumentaliser » le territoire portuaire.
- L'écologie industrielle et territoriale correspond à une approche meso-micro/territorialisée qui renvoie à la notion de proximité propre à la symbiose industrielle locale (dimension géographique affirmée selon Bouba Olga et Ferru, 2012 ; ancrage local fort selon Torrè, 1993 ; ancrage territorial selon Zimmermann, 2005) et à l'importance de la proximité « cognitive » (institutionnelle) entre les parties prenantes du territoire. Cette approche s'inscrit davantage dans une logique de gestion locale des ressources au service du territoire, ce qui correspond à l'optique première des collectivités publiques locales (gérer et générer de l'emploi et des richesses localement et limiter les impacts en termes de rejets locaux). Intégrant davantage la problématique d'intégration port-ville, d'appartenance territoriale et de paysage, l'écologie industrielle est ainsi mise au service du développement territorial.

Plusieurs exemples peuvent illustrer cette différence de stratégies au regard de la gestion des ressources, comme celle développée par Ecocem (Janin, 2015), la confrontation d'arguments entre les partisans de bioraffineries situées dans des ports et ceux prônant leur installation directement au sein des espaces agricoles de production des matières premières. Quand on étudie le passé industriel de la zone de Marseille-Fos (Daumalin, 2014, 2003), on perçoit clairement que la recherche d'une proximité avec les gisements de matières premières (saumure, charbon, etc.) ont guidé les choix d'implantations industrielles au cours du 19^{ème} siècle et du 20^{ème} siècle (industrie chimique à Fos et autour de l'Etang de Berre, usine d'aluminium à Gardanne, etc.). Avec l'ouverture à l'international rendue possible par l'interface et l'outil portuaires au cours du 20^{ème} siècle, ces schémas d'approvisionnement locaux ont progressivement volé en éclats et ces mêmes industries se fournissent désormais aux quatre coins de la planète (le charbon utilisé aujourd'hui par l'usine thermique de Gardanne provient du marché international, et est acheminé quotidiennement depuis le port de Fos, où il est débarqué, par une cohorte de camions). C'est là une limite éthique dans les approches dites d'économie circulaire, que l'on constate en France mais également en Chine. A Ningbo, en Chine, par exemple, la production de sulfate de calcium (gypse) issu du lavage des fumées

de la centrale thermique au charbon est recyclée par l'industrie cimentière, seulement en partie sur le site local de Beilun, alors que la demande locale, notamment d'autres cimentiers, suffirait à la réutiliser entièrement sur place. Une partie de ce gypse est donc recyclé à l'extérieur du territoire pour des raisons d'intérêt économiques, générant des flux de transports importants (Lei Shi, communication personnelle). Dans un autre registre, la majorité des activités de démantèlement et de déconstruction navale s'opère aujourd'hui dans le Sud-Est asiatique. Vue à une échelle globale, on pourrait parler d'une logique d'économie circulaire, l'acier récupéré assurant quasiment l'intégralité des besoins annuels de ces pays (Bangladesh, etc.). Cependant, cette boucle n'est certainement vertueuse qu'au regard du seul critère économique et ne considère que peu, voire pas du tout, les dimensions sociales et environnementales liées à ces activités (Pillard, 2015). Si Boutillier *et al.* (2014) ont rappelé les limites (quantitatives, informationnelles, organisationnelles, réglementaires, infrastructurelles, etc.) auxquelles peut se heurter la rentabilité économique des pratiques d'écologie industrielle, il convient donc d'être encore plus prudent vis-à-vis du bien-fondé de certaines de ces pratiques de coopération se réclamant de l'économie circulaire dans le cadre des territoires portuaires, où la seule dimension de proximité géographique ne suffit pas à expliquer les logiques d'échanges et de synergies entre acteurs.

3.3.2. Une nouvelle façon de caractériser l'évolution et la durabilité d'un territoire

L'exercice effectué sur le cas d'étude de la Métropole d'Aix-Marseille-Provence a montré la difficulté de pouvoir évaluer (quantitativement et qualitativement) le phénomène de complexification opéré sur ce territoire dans le contexte de la transition énergétique. Il pourrait être intéressant d'approfondir l'analyse qualitative du système (flux et relations informationnelles entre acteurs), particulièrement dans l'optique de mieux étudier la connectivité au sein du système. Définie par Frontier *et al.* (2004), la notion de connectivité exprime le fait que certaines espèces d'une communauté s'ignorent ou se perçoivent (et de fait établissent des liaisons fonctionnelles entre elles). La connectivité (ou connectance) est alors le rapport entre le nombre de liaisons effectives et le nombre (théorique) de liaisons possibles. Cela consisterait donc à aborder et évaluer la complexité globale d'un système à travers une approche matérielle (étude de métabolisme via une analyse de flux de matières et d'énergie) couplée à une approche sociale (étude des relations d'acteurs).

La complexité pourrait-elle alors être vue comme un facteur d'innovation ou un indicateur de « maturité » des écosystèmes portuaires ? Notre travail sur Marseille a montré que ce canevas d'analyse peut être utilisé dans le cadre d'une étude de la transition énergétique d'un territoire industrialo-portuaire. Cela pourrait également servir à compléter l'analyse croisée des territoires portuaires, telle que celle initiée (cf. chapitre 2) entre Marseille, Ningbo en Chine et Ulsan en Corée du Sud, qui a montré des dynamiques d'évolution similaires (trajectoires socio-écologiques) mais dans des registres temporels différents sur les cinquante dernières années, malgré des dynamiques de croissance très différentes (Figure 41). Le trafic portuaire de Ningbo a par exemple été multiplié par 16 en moins de 20 ans, et dépasse à l'heure actuelle les 400 Mt par an (soit plus de 5 fois le trafic portuaire de Marseille). Dans chacun des territoires, une part importante des flux gérés par l'autorité portuaire locale concerne des flux énergétiques, principalement d'origine fossile (charbon, pétrole,

gaz). Le trafic portuaire d'Ulsan est globalement stable sur la dernière décennie avec une légère tendance à la hausse depuis 2010, porté en partie par les exportations croissantes de l'industrie automobile implantée sur Ulsan. Par contre, l'outil industrialo-portuaire de Marseille connaît un net repli ces dernières années, principalement par la baisse constatée sur les importations d'hydrocarbures.

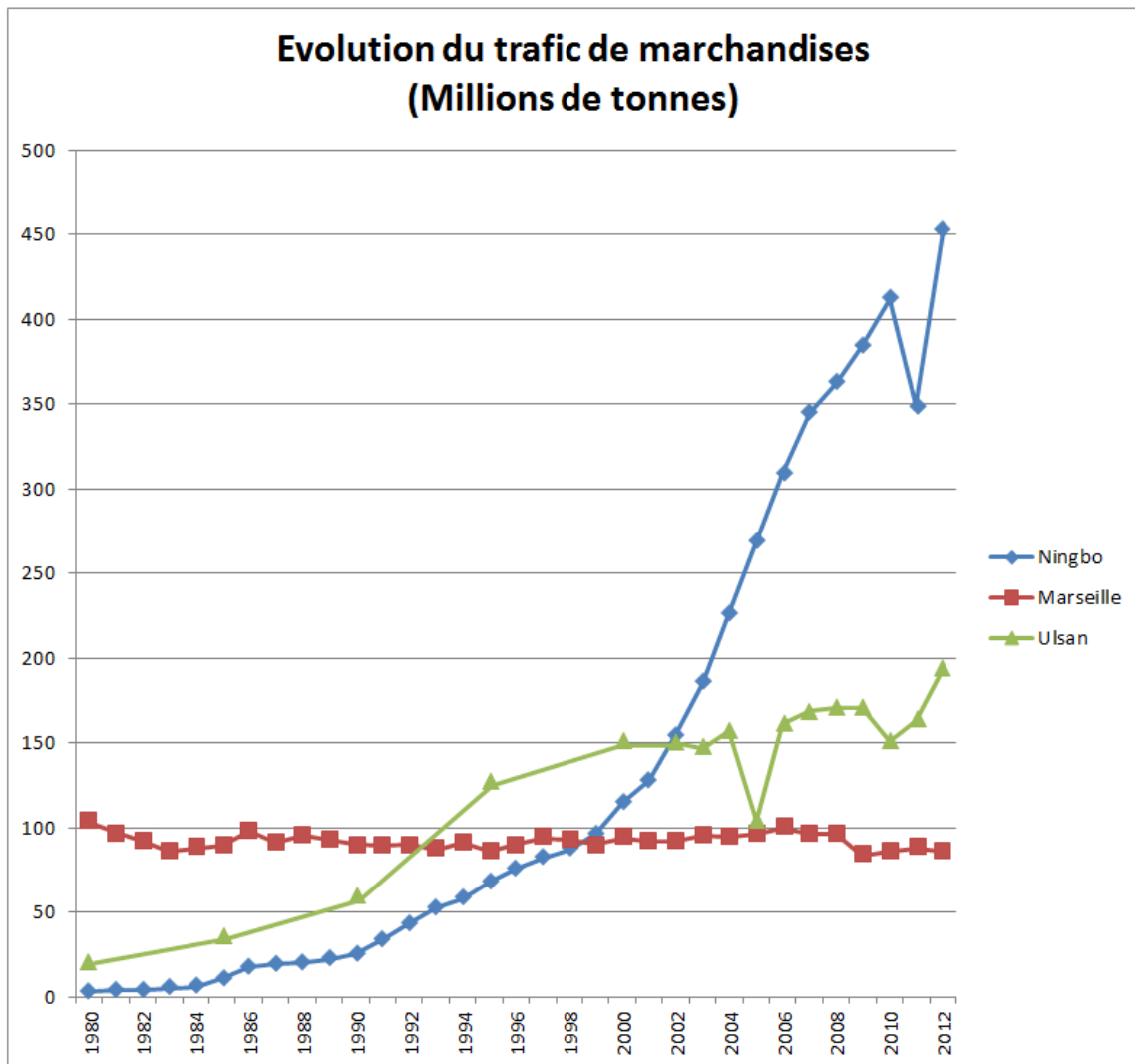


Figure 41 – Dynamiques d'évolution du trafic portuaire à Ningbo, Ulsan et Marseille sur les trente dernières années

Bien que les dynamiques de trafic portuaire diffèrent grandement entre ces trois places industrialo-portuaires, des logiques d'interactions, parfois nouvelles, y ont été identifiées et caractérisées, que ce soit au sein du sous-système industriel (micro-synergies, tel qu'indiqué sur la Figure 42), entre ce dernier et les sous-systèmes agricole et urbain (meso-synergies), entre places portuaires (Figure 43), ou encore via l'apparition d'espaces interface, à vocations multiples, entre ces différents sous-systèmes (Figure 44). Cela précise, dans le contexte industrialo-portuaire, les éléments de définition des trois types d'écosystèmes (immature, de transition, mature) décrits par Allenby (1992) et Erkman (2004).

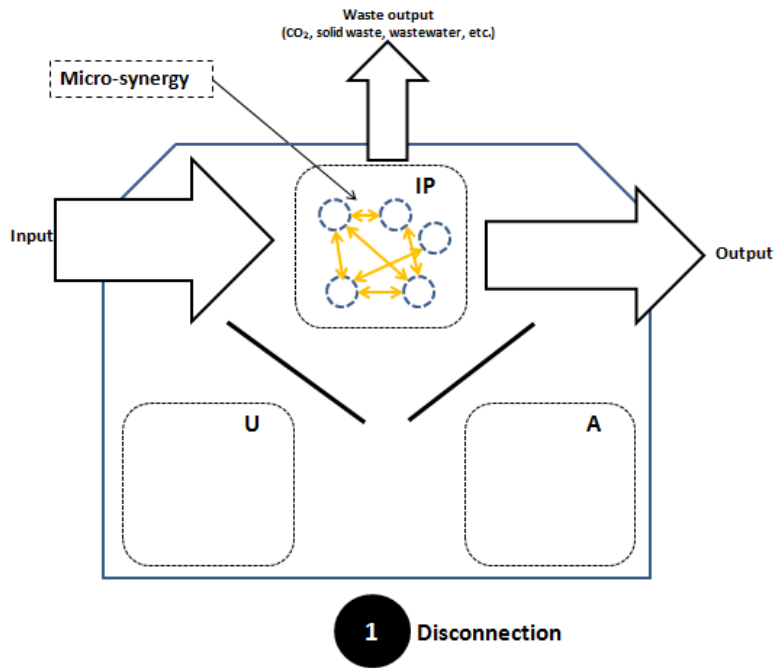
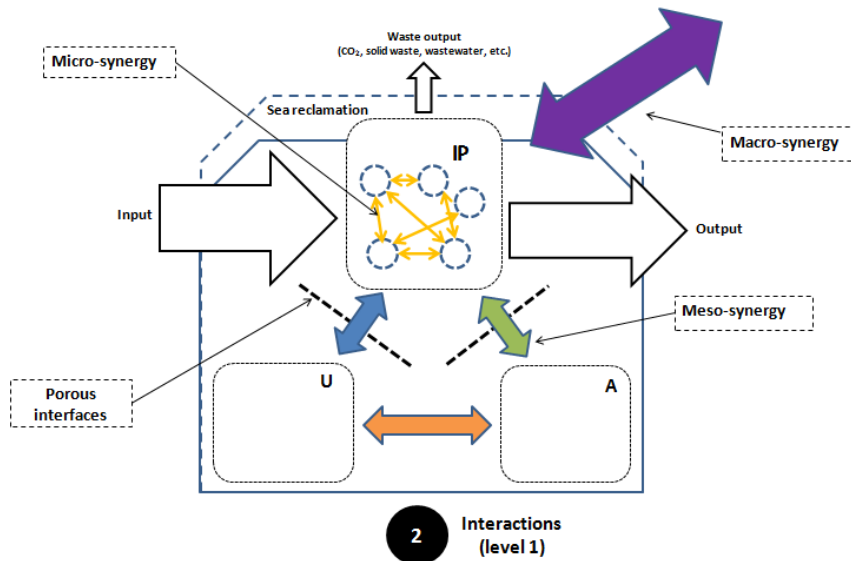


Figure 42 – Création de micro-synergies, illustrée par l’optimisation au sein du sous-système industriel



- Interactions between IP and U**
 Materials: energy (heat and frigories), water reuse, etc.
 Fonctionnal:
- Interactions between IP and A**
 Materials: heat and CO2, water reuse, etc.
 Fonctionnal: treatment capacity, etc.
- Interactions between U and A**
 Materials: sludge, water reuse, etc.
 Fonctionnal: treatment capacity, etc.

Figure 43 – Création de meso et macro-synergies

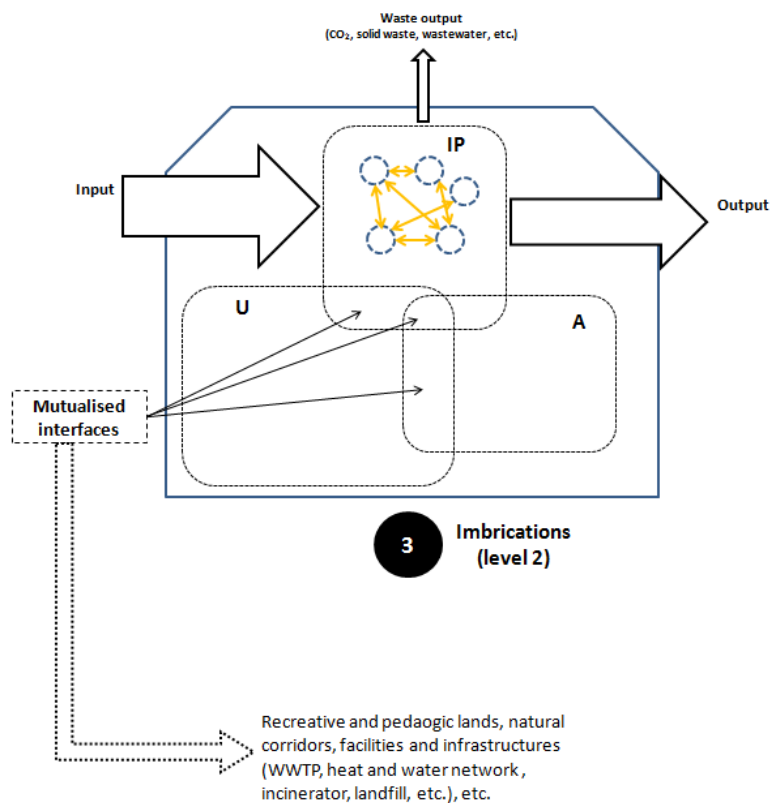


Figure 44 – Création de d’espaces mutualisés à l’interface des différents sous-systèmes

Au regard des éléments généraux recueillis et étudiés sur les territoires portuaires asiatiques d’Ulsan et Ningbo, on peut considérer, en première approximation, qu’en comparaison de l’état actuel sur le territoire de Marseille :

- Ningbo est caractérisé par un grand nombre d’interconnexions au sein du sous-système industriel, mais également entre ce dernier et les milieux urbain et agricole voisins (échanges de chaleur, etc.). Cette plus forte connectivité est en outre compensée par un niveau (actuel) de diversification des sources d’énergie plus limité, le territoire portuaire étant encore largement dépendant des sources d’énergie fossile (charbon et pétrole).
- Ulsan semble par contre davantage, à l’heure actuelle, dans un profil équilibré entre le niveau de diversité (mix énergétique plus important et forte mobilisation des gisements de matières secondaires locales, etc.) et le niveau de connectivité (nombreuses interactions existantes, déployées à une échelle industrielle) au sein de l’espace industrialo-portuaire mais également entre ce dernier et la ville environnante, ainsi qu’avec le milieu agricole (valorisation de flux énergétiques et non énergétiques).

La Figure 45 représente schématiquement cette évolution comparée entre ces trois places industrialo-portuaires.

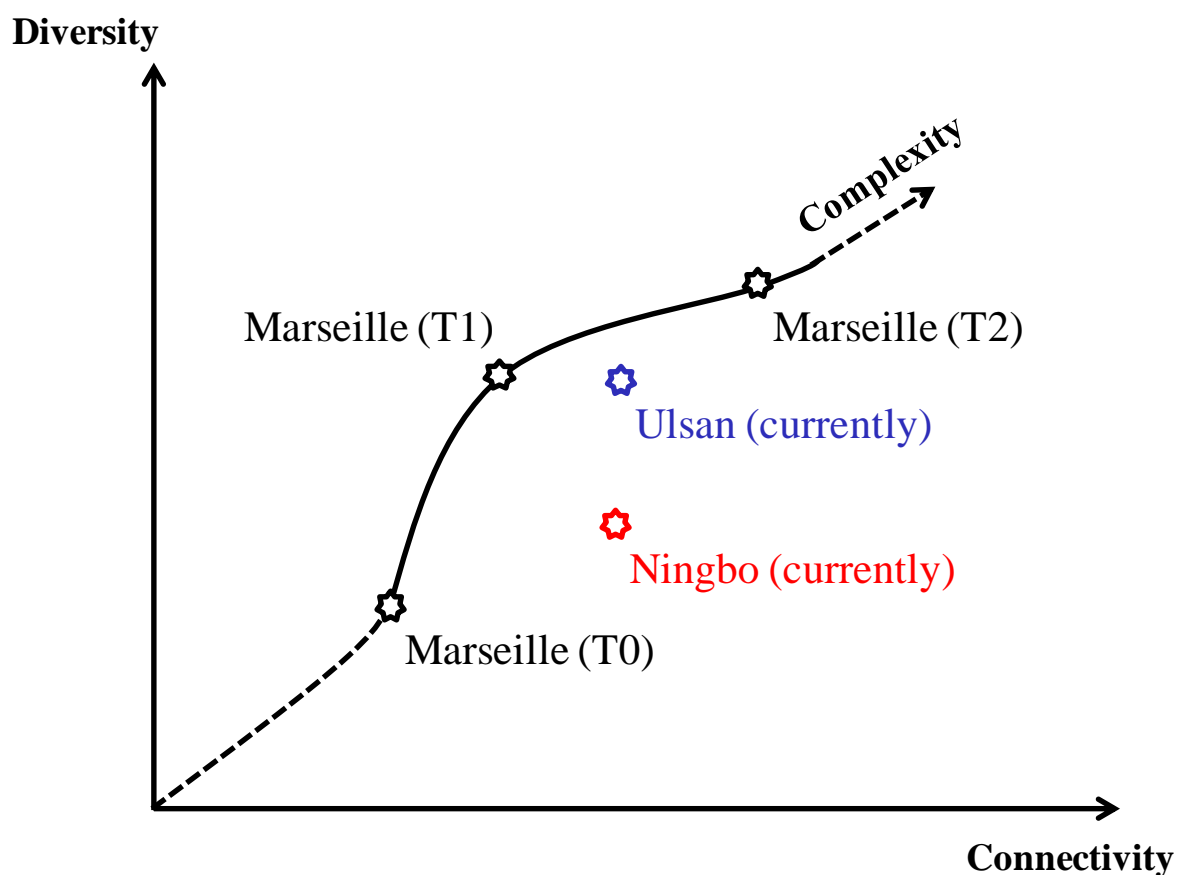


Figure 45 – Tendence d'évolution du niveau de complexité des territoires de Marseille, Ulsan et Ningbo

3.3.3. Comment, combien et pourquoi créer de la complexité territoriale ?

Dès lors, comment créer de la complexité ? Comment apprécier dans le contexte des territoires industrialo-portuaires la valeur et l'intérêt d'une approche « complexifiée » ? Quels sont les critères pour la caractériser (économique, écologique, énergétique, etc.), sachant la difficulté à caractériser et comparer le niveau de compétitivité des places portuaires (Merk et Comtois, 2012) ? Wallner (1999) énonce que la complexité du système industriel peut être augmentée à tous les niveaux d'agrégation, que ce soit au niveau local, urbain, régional, national ou mondial. Cela supposerait de travailler sur :

- le nombre d'acteurs socio-économiques impliqués dans le système,
- la diversité de ces acteurs (diversité des activités et distribution des organisations de différentes tailles),
- leurs interactions, à savoir le degré de mise en réseau entre ces acteurs (à travers la densité de l'interaction, à savoir les réseaux rapportés par unité spatiale, par exemple au sein d'une ville, et à travers l'intensité de l'interaction, à savoir les interactions évaluées par unité de temps).

Ces paramètres pourraient être de nature à également augmenter le niveau de redondance au sein du système, ce qui pourrait entraîner une réduction de la vulnérabilité structurelle du système

énergétique et augmenter in fine sa capacité de résilience, à l'instar des travaux de Gobling-Reisemann *et al.* (2012) sur le système énergétique métropolitain de Bremen-Oldenburg en Allemagne. A ce titre, l'analyse du territoire métropolitain d'Aix-Marseille s'est avérée intéressante car représentative de territoires dotés de la plupart des grands secteurs manufacturiers, tel que le souligne le rapport de l'OCDE (2013). Au-delà de la seule dimension énergétique, ce territoire est en effet doté d'activités variées dans le domaine de :

- l'aéronautique (à Marignane et à Istres, notamment autour d'Airbus Helicopters)
- la métallurgie (la métallurgie métropolitaine reste le premier pôle français de production d'acier et de maintenance industrielle)
- la réparation navale : premier pôle mondial de réparation des super-yachts
- l'optique-photonique : premier site français dédié à la mécanique-énergétique
- la micro-électronique : premier pôle en France, notamment sur le site de « Rousset Haute Vallée de l'Arc » pour la production de semi-conducteurs (35 % de la production française)
- la chimie-pétrochimie : la région totalise 30 % de la capacité française de raffinage avec les quatre raffineries de l'étang de Berre et du golfe de Fos et 10 % de la production chimique française
- les télécommunications et la téléphonie mobile, le multimédia et les logiciels et éditeurs de contenus
- l'industrie agro-alimentaire et enfin, le secteur de la logistique et des transports.

Dans son rapport, l'OCDE (2013) souligne, concernant ce territoire, une résistance particulière au contexte de crise en comparaison avec d'autres agglomérations françaises et internationales. Le bassin d'emploi de Marseille figure parmi les 15 premières métropoles françaises par le degré de résistance à la crise de 2008 (AGAM, 2014) et le PIB par habitant est remonté de manière plus dynamique en PACA que dans la plupart des autres régions françaises. Plusieurs raisons ont été avancées pour expliquer cette résilience à la crise notamment le caractère diversifié de l'économie de l'aire métropolitaine Aix-Marseille, c'est-à-dire une moindre dépendance à l'égard de quelques secteurs économiques ou d'entreprises, qui protège la métropole contrairement à certains économies locales très spécialisées ou dépendantes d'une ou plusieurs entreprises clés. L'OCDE (2013) souligne que si un haut degré de spécialisation a des avantages évidents, la diversité sectorielle assure mieux à long terme la croissance de l'emploi et de la population d'une aire métropolitaine (Glaeser *et al.*, 1992). On peut en effet intuitivement comprendre qu'un niveau de spécialisation trop élevé dans un secteur ou dans une industrie spécifique (exemple de l'industrie du décolletage dans la Vallée de l'Arve) puisse exposer le territoire aux aléas de ce seul secteur et empêcher ce territoire de bénéficier des innovations qui ont lieu dans les autres industries, sachant, comme le rappelle Jacobs (1969) qu'une grande partie des innovations a lieu lorsque des idées et des innovations passent d'une industrie à une autre.

Si l'échelle métropolitaine donne à la circonscription portuaire du GPMM sa juste dimension d'outil économique (OCDE, 2013), on a pu constater dans le cadre de notre recherche que deux formes de complexification sont à l'œuvre dans le processus de construction territoriale : une d'ordre technique et une autre d'ordre organisationnel.

- Concernant celle d'ordre technique, on voit bien que la transition énergétique opérée sur ce territoire cherche à s'appuyer sur une combinaison entre différentes sources énergétiques, sur une interpénétration future entre différents réseaux (gaz notamment) et un adossement entre micro-production et macro-production d'énergie. Le « Power to Gas » (Ademe et GRTgaz, 2014), qui vise à produire du méthane de synthèse à partir de rejets CO₂ (qui n'est alors plus seulement perçu comme un rejet, ayant un coût, mais comme une matière première secondaire, disposant d'une valeur), illustre bien cela en utilisant l'électricité excédentaire produite en période de surproduction par les énergies renouvelables pour produire, par hydrolyse de l'eau, du dihydrogène (H₂) et de l'oxygène (O₂). L'H₂ produit peut ensuite être stocké avant d'être converti en électricité *via* une pile à combustible, ou transformé en méthane (méthanation) puis injecté dans le réseau pré-existant de gaz naturel, qui constitue un espace tampon de stockage conséquent, sécurisé et bien développé sur le territoire (Boucly, 2014). Cela constitue ainsi une alternative à l'injection directe de l'hydrogène dans le réseau qui reste possible mais limitée actuellement (la concentration d'H₂ devant rester inférieure à 6% au sein des infrastructures actuelles ; cette concentration pourrait être portée à 20% suite à des modifications sur ces infrastructures). Ce stockage en réseau permettrait de valoriser cette réserve énergétique sous forme thermique ou électrique pour répondre à l'intermittence des sources d'énergies renouvelables et aux appels de pointe. GRTgaz, le gestionnaire du réseau de transport de gaz, va installer son démonstrateur de Power-to-Gas sur la plateforme industrielle du port de Fos-sur-Mer (Dupin, 2015). Ce processus de complexification d'ordre technique passe aussi par une recherche d'augmentation de la fonctionnalité de ces réseaux. On peut en effet chercher à faire transiter via ces réseaux, de la chaleur mais également, dans le cas des synergies entre le sous-système industriel et le sous-système agricole (synergies I-A), du CO₂ utilisé pour l'enrichissement de l'air dans les cultures sous serres. Le Grand Port Maritime de Marseille anticipe cette évolution du mix énergétique et des filières associées. La Figure 46 illustre bien cette complexité technique croissante inhérente à l'utilisation de sources d'énergies diversifiées et à la revalorisation de flux préalablement considérés comme des rejets ayant un coût (CO₂).

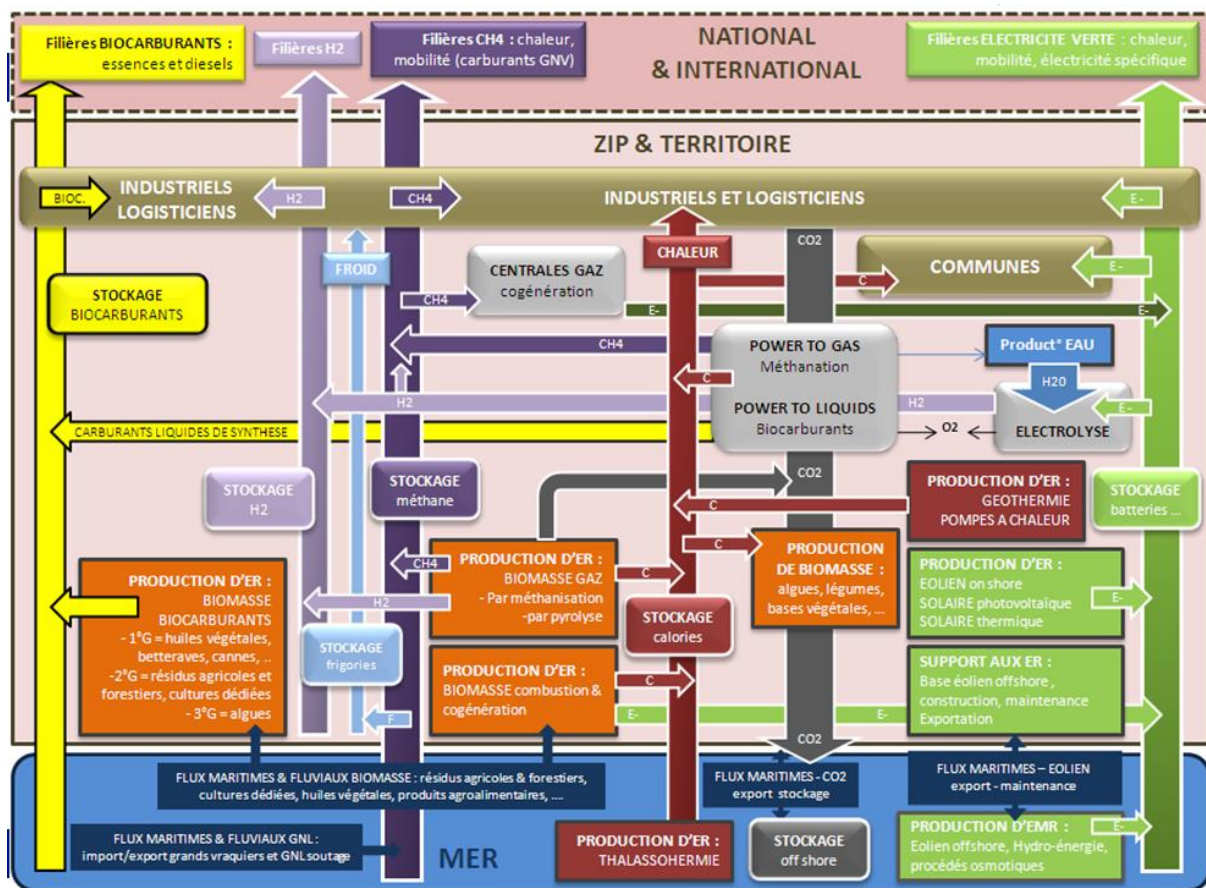


Figure 46 – Modélisation de l'écosystème énergétique industrialo-portuaire du Grand Port Maritime de Marseille (Pichon, 2013)

Cette modélisation fait ainsi apparaître le rôle futur des nouvelles sources énergétiques dans le mix énergétique, pour la plupart locales et l'évolution de la fonctionnalité des infrastructures pré-existantes (telles que les réseaux électriques et des réseaux de gaz), qui vont se révéler être, dans ce scénario, des éléments de base du système énergétique « complexifié » de demain (dont la gestion sera optimisée par l'introduction et le déploiement des Smart Grids). On raisonne donc « à structure constante », là où les phénomènes de transition (en écologie) se traduisent généralement plutôt par un changement de structure.

- Concernant celle d'ordre organisationnel, Donsimoni (2015) a montré toute l'importance de la proximité organisationnelle dans les stratégies de meilleure gestion des ressources locales. On pourrait avancer, à l'instar des effets d'agglomération géographique, qu'il existe à travers cette étude d'évolution des territoires des « effets de complexification », qui pourraient être étudiés via un croisement hybride entre la théorie des avantages comparatifs (bien connue en sciences économiques), la théorie de croissance des écosystèmes (utilisée en biologie) et la théorie de la complexité. Ces « effets de complexification » auraient alors un impact sur la productivité totale des éléments composant le territoire. L'amélioration de cette productivité assurerait donc des avantages concurrentiels de nature dynamique, qui contribueraient à créer de nouvelles externalités, elles-mêmes à l'origine de nouveaux avantages compétitifs

endogènes (boucle vertueuse): niveau d'adaptabilité et de résilience accrus, diversification/création d'activités et d'emplois, gestion des ressources optimisée et impacts environnementaux limités, nouvelles relations sociales entre acteurs locaux, augmentation des flux d'information, etc. La concrétisation des termes de l'équation présentée comme problématique de cette thèse présuppose donc que les synergies et interactions interfonctionnelles mises en œuvre à l'interface de différents sous-systèmes, dans le cadre de démarches locales d'écologie industrielle au sein de ces territoires productivo-résidentiels (Davezies et Talandier, 2014), entraînent des externalités positives (ou effets rétroactifs positifs) pour leurs différentes parties prenantes et que cette logique d'approche territoriale, complexe, peut constituer un plus-value supérieure à la somme des optimums locaux obtenus par des améliorations uniquement cloisonnées par sous-systèmes. Elle n'exclut pas qu'il puisse y avoir un niveau de complexité optimal du système et une valeur limite de complexité, au-delà de laquelle l'efficacité du système et sa pérennité se retrouvent diminuées ou remises en cause.

3.4. Conclusion du chapitre 3

Le processus de complexification, basé sur une augmentation des niveaux de diversité et de connectivité, semble être un phénomène inéluctable pour la transition énergétique des territoires portuaires. On peut toutefois se questionner sur le sens de cette évolution (Lenoir et Reeves, 2003), sur les limites de ce processus de complexification, sur l'intérêt de croître et sur l'intérêt ou le risque d'interagir entre acteurs. Cela pose pour la suite un certain nombre de questions : quel est le niveau minimum de redondance à atteindre pour maintenir un bon niveau de résilience dans le système? En ce qui concerne la diversité des sources d'énergie, quels sont les composants essentiels pour construire un système « élastique » à forte capacité d'adaptation? Concernant la connectivité, quel est le niveau minimum et les typologies d'interactions à maintenir afin de garder l'équilibre du système? Comment décrire la valeur ajoutée réelle de ces dynamiques pour chaque acteur impliqué localement (entreprises, pouvoirs publics et portuaires, etc.)? Et quelle est la façon de faire un « saut dans la complexité » en incluant l'aspect logistique de la zone du port ?

Frontier *et al.* (2004) considèrent que la connectivité (ici associée aux interactions entre nos différents sous-systèmes étudiés) semble davantage conditionner la stabilité de l'ensemble du réseau, et ce plus fidèlement que ne le fait la diversité. Dans le cas de l'étude des écosystèmes naturels, bien qu'un niveau de diversité minimal soit requis pour assurer la stabilité quantitative des flux, May (1975) souligne qu'une trop grande diversité/connectivité peut également déstabiliser rapidement un système complexe : « il n'existe pas de corrélation directe et univoque entre accroissement de diversité ou de connectivité et accroissement de stabilité d'un système ». Dans le cas de l'étude de nos systèmes anthropiques, cela peut s'entendre : en effet, si trop de liaisons sont réalisées entre les différentes parties prenantes du système ou que le cadre régissant le système est trop lourd (telles que les contraintes administratives d'autorisation, de déclaration, etc.), on peut supposer que chaque partie prenante reçoit de son environnement soit un trop plein d'informations simultanément soit que son comportement et son développement puisse être freinés. Il peut devenir alors incohérent au regard de son environnement, sachant que différents éléments peuvent conditionner l'existence et la survie des systèmes complexes : la connectivité du système, son auto-

organisation hiérarchique et son histoire. Ruthen (1993) a montré, à travers l'étude de l'auto-organisation des écosystèmes naturels, que les systèmes régulés peuvent connaître une brutale transition de l'ordre au désordre dès qu'un certain seuil d'interaction des agents au sein du système est dépassé. Cette approche pourrait s'avérer utile dans le cadre de l'étude des sociétés industrielles actuelles, où la recherche de diversification et d'augmentation des interactions (matérielles et immatérielles) est plutôt vue comme un facteur d'amélioration du niveau de résilience globale du système évoluant dans un environnement contraint et incertain. Les réflexions et travaux actuels sur la diversité fonctionnelle (Frontier *et al.*, 2004) visent justement à mieux comprendre les raisons et mécanismes d'apparition et de développement de la diversité au sein d'un système, et inversement, quel rôle peut jouer cette diversité dans le système.

Conclusion générale : synthèse et perspectives

« *Survivre c'est transformer les inconvénients en avantages et éviter que les avantages deviennent des inconvénients* ». Citation de P. Bricage. *Héritage génétique, héritage épigénétique et héritage environnemental: de la bactérie à l'homme, le transformisme, une systématique du vivant*. Dept Biologie, Faculté des Sciences, Université de Pau, 17 juillet 2001.

« *Ce qui est impressionnant dans la construction des territoires portuaires et insulaires, [...], c'est la capacité des acteurs à se projeter en direction d'un ailleurs lointain qui se joue de toutes les frontières (politiques, maritimes, terrestres, culturelles, sociales, économiques) tout en subissant leur influence. Ce sont des territoires extrêmement mouvants.* » Citation de Figeac-Monthus, M., Lastécouères, C., 2012. *Territoires de l'illicite et identités portuaires et insulaires. Ports et îles, de la fraude au contrôle, XVIème-XXème siècle*. Armand Colin / Recherches.

Cette discussion s'appuie sur l'ensemble des travaux entrepris dans le cadre de cette thèse et sur la publication suivante :

- Mat, N., Cerceau, J., 2015. *Economie circulaire et écosystèmes portuaires. Note stratégique et prospective réalisée pour le compte de la Fondation Sefacil*.

A. Synthèse des principaux enseignements

La question de recherche qui a guidée ce travail était d'étudier en quoi une approche territoriale et décloisonnée, s'appuyant sur les principes de l'écologie industrielle, pouvait permettre de développer de nouvelles opportunités et de révéler un optimum en termes de gestion des ressources. Par ailleurs, la question sous-jacente était de savoir dans quelle mesure ce(s) processus d'adaptation pouvait(aient) contribuer à la capacité de résilience du système étudié.

Nous avons abordé ces questionnements en trois temps, correspondant à trois chapitres, dont les principaux enseignements sont détaillés ci-dessous. Dans un premier temps, nous avons entrepris l'analyse (selon une approche plutôt spatiale) de plus d'une trentaine de places portuaires à l'échelle internationale. Puis, nous avons approfondi cette analyse (en adoptant une approche temporelle) pour étudier l'historique d'évolution de trois places portuaires. Enfin, nous avons finalisé notre analyse en nous focalisant sur le territoire de la future métropole d'Aix-Marseille Provence.

Une diversité d'approches d'écologie industrielle observée au sein des espaces portuaires

Les travaux entrepris dans le cadre du chapitre 1 ont permis de présenter la diversité d'approches en termes d'écologie industrielle au sein de différentes places portuaires, en se basant sur l'étude de plus d'une vingtaine de cas à une échelle internationale. Sur la base de cette analyse croisée, il est ressorti trois grands modèles en termes de configuration spatiale de ces initiatives d'écologie industrielle portuaire : l'éco-site, l'éco-territoire et l'éco-réseau.

Si l'approche type « éco-site » est plutôt caractérisée par des synergies entre industriels, souvent à la seule échelle des Zones Industriales-Portuaires, les approches type « Eco-territoire » et « Eco-réseau » voient s'élargir le cercle des parties prenantes au sein des dynamiques de coopération, jusqu'à parfois dépasser les frontières des Etats et remettre en cause le principe de proximité (géographique) généralement associé aux démarches d'écologie industrielle.

Au sein de ces différentes démarches, multi-scalaires, il a été constaté une dimension territoriale qui tend à apparaître et à s'affirmer, quels que soient les contextes et les cultures. Ces observations montrent qu'il existe des approches territoriales, au-delà des seules optimisations par sous-système, qui s'appuient sur des interactions entre sous-systèmes (industriel, urbain, agricole) au sein de l'espace portuaire (validation de notre première hypothèse de recherche).

Les travaux réalisés dans le cadre du chapitre 1 ont montré l'importance de l'accès aux ressources (eau, énergie, utilisation de l'espace, etc.) dans la quasi-totalité des cas étudiés, et consolidé la volonté de s'attarder sur la dimension énergétique dans le cadre de ce travail de thèse.

Une diversification des sources énergétiques et une augmentation des interactions locales

L'étude comparative des trajectoires socio-écologiques des territoires de Ningbo (Chine), Ulsan (Corée du Sud) et Marseille (France) a montré une tendance de déconnexion spatiale et fonctionnelle, opérée au cours du 20^{ème} siècle dans une phase de développement des complexes industrialo-portuaires (induisant une forte croissance des échanges de flux physiques). L'ouverture des territoires sur l'extérieur a basé ce développement sur un recours massif à des sources d'énergies extérieures (majoritairement d'origine fossile), au détriment de l'utilisation des sources d'énergie locales. L'observation des initiatives sur les dix dernières années tend à démontrer une nouvelle phase, avec la diversification des sources énergétiques, une meilleure utilisation des ressources locales, une redensification des liens entre les parties prenantes locales, une intensification des échanges de flux immatériels entre eux et des projets d'interactions physiques nouvelles entre l'industrie, la ville et le milieu agricole.

Les travaux réalisés dans le cadre du chapitre 2 ont montré que ces efforts de structuration territoriale, préalablement observés et décrits au chapitre 1, s'appuyaient sur des interactions nouvelles, permettant une meilleure gestion des ressources, notamment au point de vue énergétique, entre les sous-systèmes industriel, urbain et agricole (composant le territoire portuaire dans notre définition). Cela conforte notre seconde hypothèse de travail, à savoir que les espaces

portuaires ont tendance à évoluer vers une interaction croissante entre les sous-systèmes par la mise en œuvre de dynamiques territoriales d'écologie industrielle.

L'étude comparative des trajectoires socio-écologiques des territoires d'Ulsan (en Corée du Sud), de Ningbo (en Chine) et de Marseille (en France) a montré une tendance commune de complexification. Cela s'illustre notamment par le processus de métropolisation initié dans la dernière décennie sur chacun des trois territoires étudiés, qui correspond à un objectif de décroisement des approches au sein des territoires pour mieux y appréhender les enjeux, notamment énergétiques, nécessitant une nouvelle structuration du territoire (faisant référence à la notion de proximité organisée).

L'analyse comparée a également mis en évidence une succession similaire de régimes et de transitions au sein des trois territoires, mais selon des pas de temps très différents (le rythme d'enchaînement de ces périodes étant plus rapide en Asie, principalement dans le cas chinois).

Une plus-value territoriale difficile à évaluer

L'exercice d'évaluation du phénomène de complexification du système d'étude portuaire a été appréhendé par l'étude de la co-évolution des sous-systèmes et via la prise en compte de deux composantes (la diversité et la connectivité), selon une approche qualitative.

Les territoires portuaires sont dépendant d'une grande diversité d'événements perturbateurs endogènes (fermetures de sites industriels, accidents majeurs, crise environnementale, etc.) ou exogènes (évolution des coûts de l'énergie, des stratégies industrielles des grands groupes implantés à une échelle planétaire, contraintes carbone, etc.). Les travaux du chapitre 3 ont permis de vérifier que le territoire portuaire reste un système complexe à appréhender. En ce sens, il n'a pas été démontré ici, quantitativement, que la démarche territoriale entraînait nécessairement un gain de performances, notamment au point de vue énergétique. C'est dans ce cas une limite rencontrée quant à la possibilité de vérifier notre troisième hypothèse, à savoir qu'une approche décroisée et inter-fonctionnelle de l'écologie industrielle permet d'accroître les performances territoriales en termes de gestion des ressources, au bénéfice d'une plus grande résilience des territoires portuaires. Toutefois, cette logique de décroisement progressif des actions et des stratégies accompagne un processus de reconnection entre les différents sous-systèmes (industriel, agricole, urbain, mais également naturel) constitutifs du territoire industrialo-portuaire.

Enfin, il a été montré une forte dualité dans les démarches étudiées au niveau du territoire de Marseille, avec des enjeux locaux et nationaux souvent orthogonaux, entre des initiatives qui s'apparentent plutôt à une écologie industrielle et territoriale (avec une forte dimension d'ancrage local et de proximité) et d'autres faisant plutôt référence à une économie circulaire, mondialisée et s'affranchissant en partie ou totalement des notions d'ancrage local et de proximité (géographique). Ainsi, il peut au sein d'un même territoire, exister différents optimums possibles et non pas un optimum (territorial) évident.

B. Des défis pour aujourd'hui et pour demain

Des espaces où s'inventent et s'expérimentent de nouveaux modèles

La capitalisation de retours d'expériences internationales témoigne de diverses initiatives s'inscrivant dans les principes de l'économie circulaire et de l'écologie industrielle déclinées au sein des espaces portuaires. Cela a permis de poser les bases de compréhension et de caractérisation de la diversité d'approches (top-down ; bottom-up ; mixte), de facteurs de motivation et d'objectifs (caractérisation et gestion de flux de polluants, recherche de synergies potentielles entre activités implantées sur le territoire, adaptation d'un tissu économique local, mutations industrielles, développement de nouvelles activités, attractivité du territoire, etc.) et de formes de collaborations entre acteurs (gouvernance de type associatif, Groupements d'Intérêts Economiques, Sociétés d'Economies Mixtes, etc.) autour de la gestion des ressources. Les synergies mises en œuvre sont en effet d'une grande diversité (échanges de flux, mutualisations d'équipements ou de services, etc.), tant en termes de flux considérés (boues et sédiments de dragage, utilités et excédents thermiques, CO₂, effluents et déchets de navire, DIB, etc.) qu'en termes de forme organisationnelle, incluant bien souvent, et de plus en plus, différentes parties prenantes locales ou nationales (instances gouvernementales, entreprises, collectivités, autorités portuaires, associations citoyennes, etc.) dans une logique de gouvernance élargie. L'enjeu de la transition énergétique, et peut-être plus globalement socio-écologique, au sein de ces territoires portuaires est donc en partie, et en partie seulement d'ordre technique. L'analyse et les travaux entrepris au cours de cette thèse ont souligné l'importance de considérer la dimension organisationnelle dans la mise en œuvre de la transition énergétique. Cette problématique organisationnelle trouve un écho particulier quant aux enjeux de gouvernance des territoires urbano-portuaires étalés et complexes. Pour Daudet et Alix (2012), ces territoires, en tension entre des enjeux locaux et globaux, sont au cœur des stratégies territoriales modernes : ils sont en dualité permanente entre pragmatisme opérationnel local et globalisation concurrentielle. En termes de gouvernance, la solution est alors à trouver dans la conjugaison des ambitions et des moyens financiers de plusieurs parties prenantes, allant de la collectivité aux grands donneurs d'ordre logistique ou industriel, en passant par l'autorité portuaire, afin de co-construire des solutions territoriales attractives.

Si un territoire portuaire peut être perçu sous des angles ou perspectives multiples, les modèles de développement portuaire étudiés présentent la singularité d'être en tension permanente entre deux extrêmes : un modèle de développement interconnecté à un « système-monde » globalisé et un modèle de développement imbriqué dans un « système-territoire » localisé. Le territoire portuaire se trouve donc à la croisée des chemins entre une économie circulaire globale et une écologie industrielle locale : cela peut faire du port le nœud stratégique de l'optimisation de la circulation des flux à une échelle globale ; cela peut aussi faire du port l'interface pour une meilleure gestion des ressources à une échelle locale. Connectés au monde à travers les échanges maritimes et fluviaux internationaux, les territoires portuaires peuvent participer à l'optimisation de la circulation et de la valorisation des flux de matières et d'énergie dans un système globalisé. Imbriqués dans un contexte local à travers l'interface ville-port notamment, les espaces portuaires peuvent aussi participer à une densification des échanges de flux au sein des filières et entre les filières dans un système territorialisé, participant à une plus grande efficacité des territoires en termes de gestion des

ressources. Même si plusieurs facteurs liés à la cohérence des politiques publiques peuvent impacter l'émergence d'une croissance verte (Beltramello *et al.*, 2013), il est notable que de nouvelles formes d'organisation des chaînes de valeur peuvent concrètement servir à l'émergence d'une économie circulaire. Cela passe par la mise en place de services et de réseaux de logistique inverse (Le Moigne, 2014) dans lesquels l'outil portuaire peut à nouveau être déterminant. Les enjeux de gestion des ressources corroborent une vision intégrée du territoire portuaire au service d'un projet métropolitain d'économie circulaire. Le port, quelle que soit sa taille, constitue alors un véritable levier pour la mise en œuvre de ces interactions avec les secteurs urbains et agricoles situés à proximité des zones industrialo-portuaires (Cerceau *et al.*, 2014). Par exemple, sur le territoire portuaire de Terneuzen, au Pays-Bas, la Warm CO₂ initiative permet de récupérer des rejets de chaleur et de CO₂ de l'entreprise Yara afin d'alimenter des serres agricoles et horticoles implantées à proximité du complexe industriel chimique. Un autre exemple de connexion Port-Ville, celui mis en œuvre sur Göteborg en Suède où des navires peuvent désormais se connecter à quai au réseau de chaleur de la ville pour s'alimenter en chaleur le temps de leur escale et ainsi arrêter temporairement leurs unités de production embarquées de chaleur, fonctionnant au fioul, et occasionnant de fait une baisse des émissions de gaz à effet de serre lors de leur phase de stationnement.

Un déploiement de l'écologie industrielle qui reste encore modeste

Les territoires portuaires, premiers bénéficiaires et représentants d'une économie fondée sur une énergie à bas coûts, seraient-ils forcés de devenir finalement les pionniers de la transition énergétique, étant données les contraintes endogènes et exogènes s'appliquant aux industriels fortement consommateurs d'énergie, dans un contexte de tendance haussière des tarifs de l'énergie ? Sauront-ils expérimenter et être à nouveau précurseurs sur ce que seront nos futurs modèles d'organisation basés sur la sobriété et l'efficacité ?

Il est à ce titre intéressant de constater que parmi les territoires pionniers en écologie industrielle à travers le monde, Kalundborg, territoire industrialo-portuaire, reste une référence dans lequel un élément de perturbation a justement joué un rôle non négligeable dans le développement de la symbiose locale : la limitation de la ressource en eau (Erkman, 2004; Larrère, 2006). Néanmoins, la seule recherche d'un fonctionnement éco-mimétique du secteur industrialo-portuaire ne peut pas constituer un objectif en soi. Larrère (2006) l'a montré avec cet exemple danois qui fait à la fois référence et débat du fait de la fragilité de la symbiose en cas de disparition d'un élément et du fait de la limite de ses objectifs de durabilité (écosystème de type 2...). Malgré cet exemple probant des bienfaits de la mise en œuvre des principes de l'écologie industrielle, largement renseigné et relayé dans la littérature scientifique et auprès des décideurs d'autres territoires, à travers des voyages d'études, il faut bien constater que cet exemple emblématique n'a pour l'heure pas encore, ou très peu, été reproduit au sein des milliers d'autres zones industrielles situées dans le Monde. D'un statut de référence et de territoire pionnier, Kalundborg passe donc pour un épiphénomène dans l'aménagement territorial industriel mondial.

Une complexité qui n'est pas sans contraintes

Désormais, la problématique énergétique demeure une constante pour la majorité des territoires industrialo-portuaires étudiés. Principales places d'importations et de transformation des énergies d'origine fossile, les espaces portuaires se confrontent aux grands enjeux de la mutation industrielle, et notamment celui de l'adaptation aux enjeux de réduction des émissions de gaz à effet de serre et des flux d'hydrocarbures traités ainsi que de diversification du bouquet énergétique. Parmi la liste des matériaux stratégiques définis en 2013 par l'Union Européenne dont l'approvisionnement devient de plus en plus critique au regard de leur caractère indispensable pour l'économie, la plupart constitue des ressources dont la pénurie peut avoir un effet majeur sur le développement des territoires portuaires. A l'instar des autres types de territoires (ruraux, urbains, etc.), ils vont devoir apprendre à « gérer la rareté » en étant en capacité de diagnostiquer (développements d'outils et de méthodes), de capter et de revaloriser (développements de techniques, technologies et compétences) des ressources primaires et secondaires (débat actuel sur les mines urbaines par exemple).

Dans un contexte de transition vers une société « bas-carbone », ces territoires, longtemps symboles et pièces essentielles d'une économie basée sur le « tout pétrole », doivent s'adapter et innover, en favorisant des expérimentations et des nouveaux modes de coordination et de coopération multi-acteurs, la diversification des activités, une redensification des liens entre les parties prenantes locales, une intensification des échanges de flux immatériels entre eux et des interactions physiques nouvelles, notamment entre les complexes industrialo-portuaires et les secteurs agricoles et urbains. Cette phase de transition s'opère dans un contexte de baisse marquée (en particulier sur Marseille) des flux portuaires, notamment d'hydrocarbures, et un regain d'intérêt pour des gisements locaux de ressources sous-exploités ou non exploités. Dans ce schéma (de complexification), l'énergie est donc davantage investie comme un lien (informationnel et matériel) entre les différentes parties prenantes du système étudié, dans l'optique d'un gain énergétique global. Or, le changement d'échelle et de raisonnement actuel (au niveau de l'aire métropolitaine) tend à souligner deux défis majeurs qui interpellent les parties prenantes (qualifiées de « localités organisationnelles » par Crague, 2014) des espaces portuaires investies aujourd'hui dans ces démarches coopératives: comment faire que ces approches coopératives ne soient pas confrontées à une superstructure organisationnelle dont la complexité (voire la lourdeur, notamment administrative) pourrait *in fine* freiner ces développements ? Quels modes de gouvernance adopter à l'échelle de ce périmètre pour aborder collectivement la question locale de la gestion des ressources ? Les synergies entraînant de fait une diminution de l'autonomie individuelle des parties prenantes du système, cela suppose que le choix de s'inscrire dans une logique de durabilité (et de complexité, qui lui est liée selon cette thèse) n'est possible que si l'on adopte (et se soumet) à une vision commune partagée des enjeux et des objectifs à terme (vision de territoire, clarté et connaissance des limites, etc.).

Une évolution du rôle des ports et de nouveaux indicateurs

Suite à La Loi française du 4 juillet 2008 portant réforme portuaire, les missions des autorités portuaires se sont recentrées autour de ses fonctions régaliennes (sécurité, sûreté et police

portuaire). Cette réforme portuaire a également consacré son rôle d'aménageur public du domaine portuaire, dans une optique d'intérêt général au bénéfice du territoire, dans un souci de décloisonnement et de développement durable (Moine et Giraud, 2013). En se dotant d'orientations stratégiques à court, moyen et long terme, le port, avec sa nouvelle structure de gouvernance (Cariou *et al.*, 2014) souhaite s'afficher comme un véritable facilitateur pour le développement local de filières d'activités générant de la valeur et des emplois. Sur l'exemple des services énergétiques, certaines parties prenantes d'espaces portuaires français (à Marseille-Fos, Le Havre et Bordeaux notamment) réfléchissent aujourd'hui au rôle que le Port pourrait jouer, en tant qu'acteur ou opérateur interface, au sein d'un écosystème industrialo-portuaire plus mature (au sens écologique du terme), fondé et opérant selon les principes de l'écologie industrielle. Daamen et Vries (2012) ont comparé la capacité et la souplesse d'adaptation des structures de gouvernance et des institutions au sein de différentes places portuaires européennes. Ils ont ainsi montré une certaine forme de résistance au changement dans certaines places portuaires (Hambourg, Marseille, etc.) quand d'autres renouvellent et instaurent plus vite et plus densément de nouvelles relations port-ville (comme Rotterdam par exemple). Le passage progressif à l'ère de l'après-pétrole suppose également une évolution du modèle économique des autorités portuaires françaises, dont les sources de revenus étaient jusqu'alors en grande partie alimentées par l'importation, le stockage et la transformation des hydrocarbures (dans le cas de Marseille particulièrement). Cela suppose donc de trouver de nouvelles sources de financement pour moderniser et investir dans l'aménagement des zones industrialo-portuaires. L'économie circulaire et l'écologie industrielle pourraient alors constituer des relais de croissance indispensables, sources de nouveaux revenus, à travers l'implantation de nouvelles activités industrielles du fait de l'attractivité croissante des zones industrialo-portuaires offrant des services innovants et outsourcing à haute valeur ajoutée. Il peut s'agir là d'un enjeu capital pour la compétitivité des ports français. Ce changement dans la fonction portuaire, d'un rôle logistique (qui à lui seul évolue déjà continuellement et considérablement comme le soulignent Carbone et De Martino, 2003) à un rôle productif et valorisateur, pourrait être étendu à d'autres flux et à d'autres ressources. La difficulté actuelle pour les autorités portuaires reste de justifier leurs implications dans le développement de nouvelles filières d'activités, qui, si elles ne sont considérées qu'à travers leur seule pertinence économique pour le Port, seront certainement moins « lucratives » que la gestion des flux énergétiques pour laquelle les droits perçus par les ports sont encore importants (du fait de la part de ces trafics dans le tonnage total annuel géré). Pour autant, le Port pourrait être ainsi amené à faire sensiblement évoluer sa stratégie, construisant sa compétitivité non plus seulement sur la multiplication des échanges internationaux mais également sur la densification des échanges locaux. Ces enjeux trouvent un écho dans les choix d'utilisation du foncier disponible sur les zones industrialo-portuaires : si aujourd'hui, l'accueil d'activités générant du trafic reste privilégié par les autorités portuaires, la dynamique d'écologie industrielle peut utiliser ces espaces pour des activités interface, valorisant les flux localement. Ce qui suppose d'être en capacité d'évaluer, voire de « monétariser », ces nouvelles performances portuaires, en termes de densification des échanges locaux de matières et d'énergie et de création de plus-value régionale et locale (nouvelles opportunités économiques, impacts sociaux, intérêts environnementaux, etc.).

A l'heure actuelle, les indicateurs d'évaluation des performances des synergies éco-industrielles ne semblent pas pleinement adaptés aux enjeux d'évaluation de la compétitivité éco-industrielle des territoires portuaires. Comme le dit D. Clodic (2013), le port est aujourd'hui considéré comme un

aménageur mais il est évalué... en tonnages. En matière d'évaluation environnementale, les indicateurs utilisés sont classiquement les quantités de matières échangées dans le cadre des symbioses, ainsi que les impacts environnementaux potentiels évités (réduction de polluants atmosphériques, de rejets d'eaux usées et de déchets, réduction de la consommation de matières premières et d'eau). A noter que cette évaluation d'impacts se concentre souvent principalement sur une approche par site, sans prendre en compte l'estimation des transferts d'impacts. En matière d'évaluation économique, de nombreuses démarches d'évaluation estiment les bénéfices économiques au regard du retour sur investissement et des gains économiques directs ou indirects de la mise en œuvre d'échanges de flux. Les indicateurs d'évaluation du niveau d'attractivité, de la qualité de vie ou des bénéfices sociaux sont quant à eux très rares ou limités : ils se mesurent principalement à l'aulne du nombre d'emplois créés de manière directe ou indirecte par la symbiose portuaire. D'où l'enjeu de structurer un système d'évaluation des performances portuaires en lien avec une meilleure gestion des ressources, que ce soit à travers des démarches d'économie circulaire ou d'écologie industrielle.

Vers un nouveau prisme de pilotage territorial ?

Avec le projet de loi sur la transition énergétique, et en particulier le volet consacré à l'économie circulaire, actuellement en lecture au sein du Parlement, l'Etat français souhaite s'investir davantage dans la promotion de ces initiatives en fixant des objectifs de long terme favorables aux investissements et en créant un environnement institutionnel fertile pour le développement des initiatives. Dans ce contexte, les territoires portuaires ont leur carte à jouer, en tant que sites stratégiques pour la mise en œuvre d'une politique nationale compétitive en matière d'économie circulaire. Sur les 14 métropoles créées par la loi de modernisation de l'Action Publique Territoriale et d'Affirmation des Métropoles, on retrouve les principales places portuaires françaises : Marseille, Le Havre, Nantes, Bordeaux, Strasbourg, Lyon, etc. Ces pôles territoriaux, stratégiques de par leur connexion au monde (le port de Marseille, par exemple, est connecté à près de 150 ports dans le Monde), le sont également de par leur diversité au niveau du tissu économique. Parmi les 14 filières stratégiques identifiées par le gouvernement, l'alimentaire, la chimie, l'éco-industrie, le naval ainsi que l'industrie extractive et de première transformation font partie du tissu économique classiquement observé et ancré au sein des territoires portuaires français. Néanmoins, malgré l'atout qu'il constitue notamment pour un pays comme la France, l'outil portuaire reste quelque peu délaissé, alors qu'il n'y a « pas de grand pays industriel qui ne soit pas aussi un grand pays portuaire » (De Jaegher, 2015). Devenant ainsi un territoire pertinent et compétent pour la mise en œuvre de la transition énergétique (en concentrant notamment les compétences liées à l'énergie et à l'urbanisme), l'échelle métropolitaine, sans constituer non plus un absolu pour le développement économique (Bouba-Olga et Brossetti, 2014) permet de conserver la dimension d'appartenance à un même territoire dans une logique de proximité nécessaire aux différentes parties prenantes pour travailler en collaboration. En outre, cette instance, neutre, permettrait d'associer une pluralité d'acteurs, techniciens ou décideurs (acteurs de collectivités, d'institutions régionales et nationales, d'autorités portuaires, d'agences de développement, de chambres consulaires, d'entreprises, de la Recherche, etc.) dans une logique combinatoire entre différentes capacités :

- le besoin d'une intelligence territoriale, au regard de l'importance de valoriser la diversité
- le besoin d'une intelligence de réseau, au regard de l'importance de la connectivité
- le besoin d'une intelligence économique, au regard de l'importance d'une approche pragmatique
- le besoin d'une intelligence de long terme, au regard de l'importance de poursuivre in fine des objectifs d'intérêt général (durabilité)

Cette instance, au-delà de créer du lien permettrait aux différents techniciens impliqués « d'affûter » ensemble leur(s) argumentaire(s) et leur discours commun (diagnostic partagé, stratégie commune) qui seraient ensuite utilisés pour convaincre leurs décideurs communs (Etat, etc.) ou respectifs en interne (Région, Direction du port, élus de collectivités, etc.).

Les limites (éthiques) de l'économie circulaire

L'intégration de l'économie circulaire et de l'écologie industrielle dans les stratégies des parties prenantes portuaires (autorités portuaires, collectivités, entreprises, etc.) ne doit donc pas être uniquement considérée comme une opportunité offerte par un outil supplémentaire au service de la compétitivité et de l'attractivité de ces territoires. Elle se doit de questionner, dans ses fondements mêmes, le modèle de développement et d'aménagement des métropoles portuaires à venir. En effet, selon un scénario tendanciel et globalement observé à l'échelle internationale, ces territoires vont devoir dans les décennies à venir à la fois absorber une croissance démographique significative et articuler toujours plus les conflits d'usages des ressources inhérents à une densification de ces espaces (proximité et concurrence entre activités industrielles, touristiques, milieux urbain et agricole et espaces naturels sensibles). Une telle croissance démographique questionnera la capacité de ces territoires à traiter et à valoriser des flux de matières et d'énergie en quantité croissante. Ils devront également faire face aux conséquences du pic pétrolier et de la diminution progressive des énergies fossiles et anticiper une reconversion nécessaire des activités pétrochimiques aujourd'hui structurantes dans le paysage industrialo-portuaire.

Ces constats ne vont pas d'ailleurs sans questionner la résilience des synergies éco-industrielles aujourd'hui développées, au sein des complexes industrialo-portuaires, et donc la durabilité des stratégies d'écologie industrielle aujourd'hui adoptées : à l'heure de la transition énergétique, que penser en effet de la durabilité et de la résilience d'échanges de flux entre des entreprises et une centrale à charbon approvisionnée par camions depuis de lointaines mines de charbon ? A l'heure de la réduction des déchets, que penser également de l'extension d'un réseau de chaleur industriel alimenté par les excédents thermiques d'un incinérateur demandant toujours plus de déchets pour assurer sa viabilité technico-économique ? Ne peut-on pas légitimement poser la question de savoir s'il s'agit aujourd'hui véritablement d'une période de transition ou d'une « simple » adaptation du système existant (dans une logique de « robustness ») ? Ainsi, les grandes transitions à venir sur les territoires industrialo-portuaires en viennent également à questionner les choix faits en matière d'économie circulaire et d'écologie industrielle. Adopter le point de vue d'une économie circulaire et d'une écologie industrielle basée sur la capacité de valorisation et de recyclage au sein des espaces portuaires, c'est donc ne pas perdre de vue la question de la durabilité et de la résilience des approvisionnements structurants à l'origine des symbioses industrielles.

L'ouverture comme leit-motiv

La transition écologique des espaces métropolitains ambitionne d'atteindre une plus grande « maturité » en termes de gestion des ressources, en s'appuyant sur une ouverture et une collaboration croissantes par des échanges toujours plus denses et rapides (notion de fluidité présentée par Alix, 2014) de flux matériels et immatériels (informations, partages d'expériences, etc.) avec les espaces limitrophes ainsi qu'avec d'autres places portuaires. Dans la continuité de ces travaux effectués en lien avec la théorie de la complexité, c'est également soutenir que les espaces portuaires compétitifs, efficaces et résilients de demain ne seront peut-être plus nécessairement ceux qui font transiter les plus importants volumes de flux (indicateur prépondérant actuel utilisé pour jauger de la performance d'un port) mais pourquoi pas ceux qui s'appuieront davantage sur une diversité d'activités et une connectivité notamment locales accrues par la multiplication d'échanges de sous-produits, de services et d'utilités entre les acteurs portuaires, urbains, industriels et agricoles. C'est aussi penser une logique d'intégration européenne des espaces portuaires, établie non plus sur la seule compétition mais aussi sur la coopération et la complémentarité, entre Etats membres, des différents places portuaires autour de la gestion de certaines ressources (GNL, énergies renouvelables, etc.), de certains sous-produits générés et/ou valorisés par l'écologie industrielle (sédiments de dragage, laitiers de haut-fourneau, etc.), de certains services les desservant (autoroutes de la mer, etc.) et de certains domaines d'expertises liés à l'économie circulaire (stockage et flexibilité énergétiques, nouveaux modes de gouvernance, « collaborative commons », nouveaux « business models », etc.) qui vont progressivement émerger grâce aux dynamiques en cours. L'économie circulaire invite ainsi à repenser le découpage géographique et administratif des régions et même des pays afin de permettre une plus grande fluidité dans la circulation des ressources matérielles et immatérielles, en vue d'une plus grande soutenabilité des sociétés humaines. Cette logique peut s'appliquer bien évidemment à l'échelle européenne mais également concrètement à l'échelle Euro-méditerranéenne, au regard des besoins (en énergie, en eau, etc.) et des potentiels (complémentarités possibles et interdépendances) observés entre les deux rives Nord et Sud, dont les traits d'union (physiques) sont et resteront certainement encore longtemps les espaces portuaires. L'échelle méditerranéenne traduit bien ces enjeux, avec une demande énergétique globale en énergie primaire dans les pays du Sud et de l'Est méditerranéen qui devrait augmenter de 5% chaque année jusqu'à 2030 (IPEMED, 2014) et un niveau de dépendance de la Rive Nord (Europe) qui atteindrait les 65% en 2030, sachant que les principaux gisements qui répondraient à cette demande sont sur la Rive Sud (70% des exportations de pétrole nord-africaines et 90% des exportations de gaz nord-africaines sont envoyées vers l'Europe) (IPEMED, 2013). Les prévisions annoncent en effet que les ressources d'origine fossile vont continuer à constituer 80% de l'énergie primaire consommée dans l'ensemble des pays méditerranéens d'ici 2030. Mozas *et al.* (2013) montrent bien les enjeux de coopération et de complémentarité qui pourraient exister à l'échelle méditerranéenne entre les différentes rives.

Les territoires portuaires se réinventent sans cesse et doivent rester « ouverts », comme les systèmes biologiques qui le sont naturellement (leur futur doit rester « indéterminé » pour être moins vulnérable et davantage en capacité de réagir). Pour survivre, un territoire portuaire ne peut pas se permettre l'autarcie. Toutefois, la valorisation de sous-produits et déchets, selon les principes d'écologie industrielle et d'économie circulaire à une échelle locale n'est pas forcément durable et viable dans un jeu géostratégique global. Mannino *et al.* (2015) ont par exemple étudié le déclin du

parc éco-industriel du Port de Marghera, proche de Venise en Italie, malgré les initiatives d'écologie industrielle qui y étaient menées et projetées. Janin (2015) montre aussi qu'au sein d'un même groupe industriel, on peut observer des stratégies d'approvisionnement ou de revalorisation très différents. Parfois, des approches coopératives locales peuvent, dans la durée, subir le jeu de repositionnement mondial de l'activité du Groupe. Ce dernier opère en effet à une échelle globale, très compétitive et qui s'affranchit volontiers de la dimension locale des enjeux promue par l'écologie industrielle et territoriale.

C. Des perspectives opérationnelles et de recherche pour l'évolution des territoires portuaires

Les travaux entrepris dans le cadre de cette thèse, et les échanges effectués avec des acteurs au sein de ces territoires, en France et à l'international, font émerger quelques réflexions à court et moyen terme.

Pour aller plus loin que la caractérisation des facteurs clés pour l'émergence et la mise en œuvre de synergies éco-industrielles dans les places portuaires (ISIGE, 2015), il pourrait être intéressant de questionner à la fois quels sont les facteurs qui favorisent une meilleure interaction entre les différents sous-systèmes, notamment en travaillant sur la responsabilité des acteurs (selon une vision historique) et si ces différentes externalités ont finalement un impact (chiffré) sur l'amélioration de la productivité totale de chaque entreprise, en leur assurant, selon une logique vertueuse, des avantages concurrentiels de nature dynamique (avec des avantages contribuant à créer de nouvelles externalités elles-mêmes à l'origine de nouveaux avantages compétitifs endogènes, etc.). Wallner (1999) a comparé les relations et analogies entre les écosystèmes naturels et industriels. Il souligne notamment l'incapacité actuelle des écosystèmes industriels à apprendre de leur passé (« capacity of learning-development from crises, resilience, self-learning »). Au-delà des démarches d'intelligence territoriale, une piste de recherche future pourrait être de faire travailler des systèmes d'auto-apprentissage (réseaux de neurones) afin de mieux apprendre des cycles passés pour alimenter des scénarios futurs (outils de simulation) et aider à la prise de décision. Par ailleurs, bien que ce travail de recherche n'ait pas pu l'aborder en profondeur, il serait intéressant de questionner s'il existe une relation, et laquelle, entre la « maturité » du territoire et l'un des inputs du système (énergie, etc.) ou les cycles de consommation énergétique, etc. Et dans ce cas, quel serait la forme de la courbe décrivant cette évolution du « profil de maturité » du territoire ? Existe-t-il un ou plusieurs optimums de complexité, etc. ? On peut aussi évoquer comme perspectives de recherche l'approfondissement des différents travaux d'évaluation de la performance du territoire, via l'Analyse de Cycle de Vie territoriale (Loiseau, 2014), afin d'aller au-delà des seules évaluations environnementales de synergies (Adoue, 2008).

Sur un plan plus pratique, une communauté d'acteurs portuaires engagés dans une logique d'économie circulaire se structure progressivement depuis quelques années en France, rassemblant acteurs, opérateurs et décideurs de démarches d'écologie industrielle portuaire (autorités portuaires, collectivités locales, groupement d'intérêt économique, entreprises privées, laboratoires de recherche, etc.). Ces acteurs s'accordent sur quelques enjeux communs : difficulté à passer du

diagnostic à la mise en œuvre de synergies, manque de fiabilité des démarches et prises de risques des financeurs, manque d'expériences quant au portage financier et juridique des synergies, manque de confiance et confidentialité des données, manque de culture du partenariat et du changement, manque de cohésion territoriale, cloisonnement des organisations, turn-over des responsables de projet, difficulté des décideurs à investir dans des infrastructures lourdes dans un contexte d'incertitudes et d'adaptation constant, co-existence de stratégies court-terme/long-terme, culture de la concurrence et de la compétition, etc. Il souhaiteraient ainsi initier et structurer les bases d'une politique nationale dédiée à l'émergence, la systématisation, la valorisation et le soutien de ces démarches portuaires d'économie circulaire, en se dotant des instruments permettant une plus grande mise en coordination de ces initiatives de type bottom-up relevées sur le terrain, de façon à les accompagner encore davantage, les systématiser et optimiser les conditions de leur développement. Il ressort des échanges avec ces acteurs un réel besoin de mise en œuvre de solutions rapides, concrètes et illustratives (étayées de données chiffrées notamment d'ordre économique), qui pré-supposent de se doter d'une véritable ingénierie financière innovante pour accompagner l'émergence de ces bonnes pratiques au sein des territoires portuaires, de grande ou de petite taille. Au regard de notre compréhension des dynamiques en cours au sein d'autres places portuaires fluviales ou maritimes notamment de plus petite taille (comme Cherbourg, Boulogne, Sète, etc.) que les grands ports maritimes, Il semble en effet que nos principales conclusions (interactions fonctionnelles actives, complexification des démarches, etc.) soient d'une certaine manière généralisables et reproductibles.

Au sein des espaces portuaires, sommes-nous donc à la veille de nouveaux modèles de développement, prospères et basés sur une plus grande durabilité, tels que revendiqués par l'économie circulaire et territoriale ? Figeac-Monthus et Lastécouères (2012) rappellent que la fraude est traditionnellement associée aux espaces portuaires et insulaires et qu'il n'est pas de port prospère qui ne concentre pas tous les trafics illicites. A l'instar de leurs travaux sur ces nouvelles formes de criminalité, ce travail de recherche pose la double question de savoir si l'écosystème portuaire développe spontanément des formes d'organisation favorable à une économie circulaire territorialisée qui le rend in fine plus attractif ou bien si celle-ci est finalement la conséquence de contraintes économiques dont les espaces portuaires sont les premières victimes ? Ce travail de recherche aura donc consisté à analyser ou explorer le lien, à travers un large panel d'initiatives réparties à l'échelle mondiale s'il existe un lien spécifique entre écosystèmes portuaires, économie circulaire et écologie industrielle. Les territoires portuaires, parce que soumis à une grande pluralité de facteurs endogènes et exogènes, se retrouvent ainsi être des laboratoires pertinents d'analyses et d'expérimentations où se conçoivent des innovations complexes d'ordre technologique et organisationnel dans une optique de plus grande durabilité de nos sociétés humaines, dans le respect du substrat territorial (la biosphère). L'économie circulaire participe ainsi en cela à la construction et au renouvellement des identités portuaires et territoriales.

Références bibliographiques

- Adam, P., 2013. Contexte et enjeux : quels rôles et quelle place pour les énergéticiens dans le débat ? Actes du 13^{ème} congrès OSE – Energie, citoyens et ville durable. Presses des Mines.
- Ademe, 2014. Guide méthodologique du développement des stratégies régionales d'économie circulaire en France. Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par AUXILIA, en partenariat avec l'Association des Régions de France.
- Ademe, 2013. Economie circulaire : notions. Fiche technique de la Direction Consommation durable et déchets.
- Ademe, 2013. Contribution de l'ADEME à l'élaboration de visions énergétiques 2030-2050. Rapport technique et synthèse avec évaluation macro-économique. 48 p.
- Ademe et GRTgaz, 2014. Etude portant sur l'hydrogène et la méthanation comme procédé de valorisation de l'électricité excédentaire. Synthèse de l'étude. Disponible sur Internet au lien suivant : <http://www.grtgaz.com/fileadmin/engagements/documents/fr/Power-to-Gas-etude-ADEME-GrDF.pdf>
- Ademe et MEDDE, 2015. Repenser les villes dans la société post carbone. Rapport de la Mission Prospective du Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie et du Service Économie et Prospective de l'ADEME. 310 p.
- Adoue, C., 2008. Mettre en œuvre l'écologie industrielle, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes (PPUR).
- AGAM, 2014. L'emploi métropolitain : l'atout d'un tissu économique diversifié. Regards de l'AGAM. N°19, février 2014.
- Aknin, A. *et al.*, 2002. Environnement et développement – quelques réflexions autour du concept de « développement durable ». Article paru dans l'ouvrage : Développement durable ? Doctrines, pratiques, évaluations (textes réunis et présentés par J.Y Martin, IRD Editions, 2002), pp. 51-71.
- Alix, Y., 2014. L'avenir sera fluide. Livre blanc de la SOGET.
- Allenby, B., 1992. Design for environment : implementing industrial ecology, thèse de doctorat, State University of New Jersey, New Brunswick, 381 p.
- Altieri, M.A., 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74 (1999) 19–31
- Anderies, J.M., Janssen, M.A., Ostrom, E., 2004. A framework to analyze the robustness of socio-ecological systems from an institutional perspective. *Ecol. Soc.* 9 (1), 18.
- Arrow, 1962. "Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention," in Richard R. Nelson, ed., *The Rate and Direction of Inventive Activity*, Princeton: Princeton University Press, pp. 609-625.

Attali, J., 2013. Pour une économie positive. Rapport du Groupe de réflexion. La documentation française. Fayard.

Baas, L., 2000. "Developing an industrial ecosystem in Rotterdam: Learning by... what?" *Journal of Industrial Ecology*. 4 (2), 4-6.

Baas, L., Boons, F., 2004. An industrial ecology project in practice: exploring the boundaries of decision-making levels in regional industrial systems. *J. Clean. Prod.* 12, 8–10, 1073–1085

Baas, L., Boons, F., 2007. The introduction and dissemination of the industrial symbiosis projects in the Rotterdam Harbour and Industry Complex. *Environ. Technol. Manag.* 7 (5-6), 551-577

Bale, S.E.C, Varga, L., Foxon, T.J, 2015. Energy and complexity: New ways forward. *Appl. Energ.* 138, 150–159.

Banque Mondiale, 2015. Indicateurs du développement dans le monde. Développement urbain. En ligne sur : <http://donnees.banquemondiale.org/theme/developpement-urbain>

Baret, V., P., Stassart, P.M., Vanloqueren, G., Van Damme, J., 2013. Dépasser les verrouillages de régimes socio-techniques des systèmes alimentaires pour construire une transition agroécologique. 1er congrès interdisciplinaire du développement durable - Quelle transition pour nos sociétés ? Namur (janv-fév. 2013).

Barles, S., 2005. Le métabolisme urbain : l'azote, XIXe-XXe siècle. Rapport dans le cadre du projet PIREN-Seine (extraits)

Barles, S., 2009. Urban Metabolism of Paris and Its Region. *J. Ind. Ecol.* 13. 6.

Barles, S., 2010. Les villes : parasites ou gisements de ressources ? Article publié dans lavedesidees.fr (25 mai 2010)

Barles, S., Billen, G., Chatzimpiros, P., Kim, E., Garnier, J., Silvestre, M., 2011. Ville et fonctionnement du bassin de la Seine : matériaux de construction, sol, énergie, alimentation. Contribution à une écologie territoriale. PIREN-Seine. Phase V – Rapport de synthèse 2007-2010.

Barles, S., 2011. A brief history of territorial ecology end 18th – beginning 21st century. Présentation orale dans le cadre de l'UMR Géographie-Cités, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne.

Barouch, G., 1989. La décision en miettes. Systèmes de pensée et d'action à l'œuvre dans la gestion des milieux naturels. Paris, L'Harmattan, Logiques sociales.

Baumgartner, D.U., Mieleitner, J., Alig, M., Gaillard, G., 2011. Environmental Profiles of Farm Types in Switzerland Based on LCA. M. Finkbeiner (ed.) *Towards Life Cycle Sustainability Management*.

Beaurain, C. et Brulot, S., 2011. L'écologie industrielle comme processus de développement territorial : une lecture par la proximité. *Revue d'Économie Régionale & Urbaine*, p. 313-340.

Beltramello, A., Haie-Fayle, L., Pilat, D., 2013. Why new business models matter for green growth, *OECD Green Growth Papers*, 2013-01, OECD Publishing, Paris.

Benoit, M., Rizzo, D., Marraccini, E., Moonen, A-C., Galli, M., Lardon, S., Rapey, H., Thenail, C., Bonari, E., 2012 ; Landscape agronomy: a new field for addressing agricultural landscape dynamics. *Landscape Ecology*. 27/1385–1394

Berkes, F., et Folke, C., (Editors), 1998. *Linking Social and Ecological Systems: Management Practices and Social Mechanisms for Building Resilience*. Cambridge University Press, New York.

Bey C., 2005, “Human systems in terms of natural systems? Employing non-equilibrium thermodynamics for evaluating industrial ecology’s ‘ecosystem metaphor’”, *International Journal For Sustainable Development*, vol. 8, n°3, p.189-205.

Bey, C., 2001. Quo Vadis Industrial ecology? Realigning the discipline with its roots. *Greener Management International*, n° 34, p. 35-42.

Beyer, A. et Debrie, J., 2011. Les temporalités frontalières et urbaines du port de Strasbourg. Analyse géohistorique d’une relation fluviale ville-port. *Métropoles* [en ligne], mis en ligne le 15 mai 2012, consulté le 6 octobre 2014. URL : <http://metropoles.revues.org/4494>

Billen, G., Garnier, J., Némery, J., Sebilo, M., Sferratore, A., Barles, S., Benoit, P., Benoit, M., 2007. A long-term view of nutrient transfers through the Seine river continuum. *Sci. Total. Environ.* 375. 80.

Billen G., Garnier J., Barles S., 2012. History of the urban environmental imprint: Introduction to a multidisciplinary approach to the long-term relationships between western cities and their hinterland *Regional Environmental Change* 12, 2 (2012) 249-253 - <http://hal-enpc.archives-ouvertes.fr/hal-00808437>

Boehme, S., Panero, M., Muñoz, G., Powers, C., and S. Valle. 2009. Collaborative Problem Solving Using an Industrial Ecology Approach: The New York/New Jersey Harbor Economy-Wide Substance Flow Case Studies. *Journal of Industrial Ecology*, 13(5): 811–829.

Boix, M., Montastruc, L., Pibouleau, L., Azzaro-Pantel, C., Domenech, S., 2012. Industrial water management by multiobjective optimization: from individual to collective solution through eco-industrial parks. *Journal of Cleaner Production*, vol. 22 (n° 1). pp. 85-97.

Bouba-Olga, O. et Brossetti, M., 2014. La métropolisation, horizon indépassable de la croissance économique ? <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01078207>

Bouba-Olga, O. et Ferru, M., 2012. La proximité géographique compte-t-elle toujours ? Une analyse empirique de deux bases de données relationnelles de longue période. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00725073v1>

Boucly, P., 2014. L’Hydrogène, vecteur de la transition énergétique. Présentation réalisée dans le cadre d’une conférence au Sénat le 7 novembre 2014

Bouleau, N., 2010. Sacrosainte économie. In D. Bourg, A. Papaux. *Pour un monde sobre et désirable*, Presses Universitaires de France, pp.102-133.

Bourg, D. et Papaux, A., 2010. *Vers une société sobre et désirable*. Editions PUF, Collection “Développement durable et innovation institutionnelle”, mai 2010, 512 pages.

Bourg, D. et Whiteside, K., 2010. Vers une démocratie écologique. Le citoyen, le savant et le politique, Seuil, 103 p.

Bourg, D., 1997. Nature et technique, essai sur l'idée de progrès. Hatier, 82p.

Boutillier, S., Burmeister, A., Laperche, B., Merlin-Brogniart, C., Uzunidis, D., Kasmi, F., 2015. Le territoire entrepreneurial durable. Etude du cas de dunkerque (Nord-France). Rapport final –Partie 2. Janvier 2015.

Bringezu, S., van de Sand, I., Scütz, H., Bleischwitz, R., Moll, S., 2009. Analysing global resource use of national and regional economies across various levels. In: S. Bringezu and R. Bleischwitz (eds.): 10-51.

Bristow, D.N., Kennedy, C.A., 2013. Urban Metabolism and the Energy Stored in Cities. Implications for Resilience. Research and analysis. Journal of Industrial Ecology.

Brulot, S., 2009. Mise en œuvre de projets territoriaux d'écologie industrielle en France: vers un outil méthodologique d'aide à la décision. Thèse de doctorat, Université de Technologie de Troyes.

Brulot, S., Maillefert, M., Joubert, J., 2014. « Stratégies d'acteurs et gouvernance des démarches d'écologie industrielle et territoriale », Développement durable et territoires [En ligne], vol. 5, n°1 | février 2014, mis en ligne le 04 février 2014, consulté le 07 mai 2014. URL: <http://developpementdurable.revues.org/10082> ; DOI : 10.4000/developpementdurable.10082

Brunet, R., 1986. La carte-modèle et les chorèmes. Mappemonde 86/4.

Brunet, R., 1980. La composition des modèles dans l'analyse spatiale, in L'Espace géographique, n° 4, 1980.

Buclet, N., 2011. Ecologie industrielle et territoriale, stratégies locales pour un développement durable, Septentrion Presses Universitaires, 336p.

Buclet, N., 2011. « Territoire, innovation et développement durable : l'émergence d'un nouveau régime conventionnel ? », Revue d'Économie Régionale & Urbaine 2011/5 (décembre), p. 911-940.

Calame. P., 2012. Discours d'ouverture aux 1ères rencontres francophones de l'écologie industrielle et territoriale à Troyes. 17 octobre 2012.

Cao, J., Li, M., Shuguo, L., 2011, Development Strategy Research of Modern Eco-Agriculture on the basis of constructing the Rural Circular Economy-For the Example of Shandong Province. Energy Procedia, 5, 2504–2508.

Carbone, V., et De Martino, M., 2003. The changing role of ports in supply-chain management: an empirical analysis. Maritime Policy Management n°4. 30, 305-320.

Cariou, P., Fedi, L., Dagnet, F., 2014. The new governance structure of French seaports: an initial post-evaluation. Maritime policy & management : The flagship journal of international shipping and port research.

Carpenter, S.R., *et al.*, 2011. Early Warnings of Regime Shifts: A Whole-Ecosystem Experiment. Report, Scienceexpress.

Cerceau, J., Mat, N., Junqua, G., Lin, L., Laforest, V., Gonzalez, C., 2014. Implementing industrial ecology in port cities: international overview of case studies and cross-case analysis. *Journal of Cleaner Production*, 74 (1), 1-16.

Cerceau, J., 2013. L'écologie industrielle comme processus de construction territoriale : application aux espaces portuaires. Thèse de doctorat, Ecole des Mines d'Alès.

CESER Aquitaine, 2015. L'économie circulaire en Aquitaine : état des lieux, atouts et perspectives de développement. Rapport de l'observatoire des mutations économiques.

CGDD, 2014. Guide méthodologique d'accompagnement des collectivités dans la mise en œuvre opérationnelle de leurs projets d'EIT. Guide piloté par le Comité d'Animation Territoire durable et Ecologie Industrielle (CATEI) au sein du Commissariat général au développement durable (Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie).

CGEDD, 2014. L'économie circulaire : état des lieux et perspectives. Rapport n°009548-06 établi sous la coordination de Bernard Perret. Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie.

Chabot, G., 1948. *La Géographie des villes*, Paris, A. Colin.

Chastelan *et al.*, 2002. *La population du Monde. Géants démographiques et défis internationaux*. Les Cahiers de l'INED. Cahier n°149.

Chelleri, L., Olazabal, M., Kunath, A., Minucci, G., Waters, J.J., Yumalogava, L., 2012. Multidisciplinary perspectives on urban resilience. Workshop Report. 1st edition. Basque Centre for Climate Change

Chertow, M.R, Ashton, W.S., Espinosa, J., 2008. Industrial symbiosis in Puerto Rico: environmentally related agglomeration economies. *Reg. Stud.*, 42 (10), pp. 1299–1312.

Chertow, M., 2007. "Uncovering" Industrial Symbiosis. *J. Ind. Ecol.* 11. 1.

Chertow, M.R., 2000. Industrial symbiosis. Literature and taxonomy. *Annu. Rev. Energy Environ.* 25, 313-337.

Clark, J., 1993. *Introduction à la philosophie écologique et politique de l'anarchisme*. Editions Ecosociété.

Claval, P., 1997. Les interprétations fonctionnalistes et les interprétations symboliques de la ville. *Cybergeo : European Journal of Geography* [Online], Topics, Cultural problems of large cities. Paris, December 8-11, 1997, document 81, Online since 10 March 1999, connection on 05 May 2015. URL : <http://cybergeo.revues.org/1069>

Clements, F.E., 1916, *Plant Succession*, Carnegie Institute Washington Publication, 242, Washington, DC Connell.

Clements, F.E., 1936, *Nature and structure of the climax*, *J. Ecol.* 24, p.252-284.

Clodic, D., 2013. Les ports: acteurs de la transition énergétique. Présentation à la Conférence de l'Union des Ports de France du 2 septembre 2013.

Cohen-Rosenthal, E., 2004. Making sense out of industrial ecology: a framework for analysis and action. *Journal of Cleaner Production*. 12, 1111-1123.

Collectif, 2013. Séminaire national sur l'écologie industrielle dans les territoires portuaires. Document de synthèse. Paris, le 4 avril 2013.

Côté, R., Cohen-Rosenthal, E., 1998. Designing eco-industrial parks: a synthesis of some experiences. *J. Clean. Prod.* 6 (3-4), 181-188.

Crague, G., 2014. *Entreprise, management et territoires*. Presses de l'Université Laval, collection Sciences de l'administration, 2014

Daamen, T.A, Vries, I, 2012. Governing the European port-city interface: institutional impacts on spatial projects between city and port. *Journal of transport geography*.

Daudet, B., 2012. Grands projets de villes, Grands projets de ports. Quelles échelles spatio-temporelles pour quelles gouvernances? Le cas de la Vallée de la Seine. Note stratégique et Prospective, contrat réalisé pour l'AURH (Agence d'Urbanisme de la Région Havraise), 26p.

Daudet, B., Alix, Y., 2012, Gouvernance des territoires ville-port : empreintes locales, concurrences régionales et enjeux globaux. *Organisation et territoires*, 21 (2-3).

Daumalin, X., 2014. *Le patronat marseillais et la deuxième industrialisation 1880-1930*. Presses universitaires de Provence. 326 pages.

Daumalin, X., 2013. Désindustrialisation et ré-industrialisation à Marseille fin XIXe-début XXe siècle. L'exemple des activités chimiques traditionnelles. *Rives méditerranéennes* n° 46. 47-62.

Daumalin, X., 2003. *Du sel au pétrole. L'industrie chimique de Marseille-Berre au XIXe siècle*, Editions Paul Tacussel, Marseille, 160 pages

Dauphiné, A. et Provitolo, D., 2007. La résilience : un concept pour la gestion des risques. *Annales de géographie* 2007/2 (n° 654). Armand Colin.

Davezies, L., et Talandier, M., 2014. L'émergence de systèmes productivo-résidentiels. *Territoires productifs – territoires résidentiels : quelles interactions ? Travaux* n°19. La documentation française.

Deffontaines, J-P., 1996. Du paysage comme moyen de connaissance de l'activité agricole à l'activité agricole comme moyen de production du paysage. L'agriculteur producteur de paysages. Un point de vue d'agronome. *Compte-rendu de l'Académie d'Agriculture de France*. 82(4) p. 57-69.

De Jaegher, T., 2015. Les ports, cet atout que la France délaisse au mépris de sa compétitivité. *L'Usine nouvelle* n°3416.

Deschenes, J. et Chertow, M.R., 2004. An Island Approach to Industrial Ecology: Towards Sustainability in the Island Context. *Journal of Environmental Planning and Management*, 47 (2), 201–217.

Diamond, J., 2006. *Effondrement. Comment les sociétés décident de leur disparition ou de leur survie*. Gallimard, NRF Essais.

Diemer, A., et Labrune, S., 2007. L'écologie industrielle : quand l'écosystème industriel devient un vecteur du développement durable. Développement durable et territoires [En ligne], mis en ligne le 30 août 2007, consulté le 04 mai 2015. URL : <http://developpementdurable.revues.org/4121>

Domenech, T., Davies, M., 2011, "Structure and morphology of industrial symbiosis networks: The case of Kalundborg". *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 10, 79–89.

Donnadieu, G. et Karsky, M., 2002. *La systémique, penser et agir dans la complexité*. Paris : Editions de liaisons.

Donsimoni, M., 2015. Symbioses Port-Ville pour un meilleur ancrage local des activités industrialo-portuaires : l'exemple de Safi au Maroc. Chapitre publié dans l'ouvrage collectif co-dirigé par Mat, N., Cerceau, J., Alix, Y., (Coord). *Economie Circulaire et Ecosystèmes Portuaires*. Collection Les Océanides (2015, à paraître).

Ducruet, C., Itoh, H., Joly, O., 2013. Port-region linkages in a global perspectives. In : *MoLos Conference*, Le Havre, 2013

Ducruet, C., 2008. « Typologie mondiale des relations ville-port », *Cybergeogeo: Eur. J. Geogr.* [Online], Space, Society, Territory, document 417, Online since 27 March 2008, connection on 19 June 2013. URL : <http://cybergeogeo.revues.org/17332> ; DOI : 10.4000/cybergeogeo.17332

Ducruet, C., et Lee, S-W., 2006. Frontline soldiers of globalisation: Port–city evolution and regional competition. *GeoJournal* (2006) 67:107–122

Ducruet, C., 2005. Structures et dynamiques spatiales des villes portuaires : du local au mondial. *M@ppemonde* 77.

Dupin, L., 2015. GRTgaz implante un démonstrateur de stockage d'électricité à Fos-sur-Mer. *L'Usine Nouvelle*, 19 mars 2015.

Dureau, F., 1990. Pour une approche non fonctionnaliste du milieu urbain africain. In : *Croissance démographique et urbanisation : politiques de peuplement et aménagement du territoire*. Bondy : ORSTOM, 1990, 12 p. multigr. *Croissance Démographique et Urbanisation. Politiques de Peuplement et Aménagement du Territoire : Séminaire International*, Rabat (MAR), 1990/05/15-17.

Duszynski, J., 2015. The grain network. Filière cereals en Vallée de Seine : enjeux et prospective. Rapport de MBA soutenu par la Fondation Sefacil. Editions EMS.

Dutoit, T., 2013. L'ingénierie écologique, nouvel oxymore ou nouveau paradigme écologique ? Regards de la Société Française d'Ecologie. En ligne, consultable sur <http://www.sfecologie.org/regards/2013/04/05/r44-eco-ingenierie-thierry-dutoit/>

Ehrenfeld, J., Chertow, M., 2002. Industrial symbiosis: the legacy of Kalundborg. In: Ayres, R. (Ed.), *A Handbook of Industrial Ecology*. Edward Elgar, Northampton, USA.

Erkman, S., 1997. Industrial Ecology : A Historical View, *Journal of Cleaner Production*, 5, n°1-2,1-10.

Erkman, S., 2004. *Pour une écologie industrielle*. Editions Charles Leopold Mayer.

Erkman, S., 2010. Quel avenir industriel de l'Estuaire ? L'écologie industrielle, une chance pour notre territoire ? Conférence-débat du Grenelle de l'Estuaire.

Ferrari, L., 2013. Les NTIC au service de la ville durable. Actes du 13^{ème} congrès OSE – Energie, citoyens et ville durable. Presses des Mines.

Figeac-Monthus, M., Lastécouères, C., 2012. Territoires de l'illicite et identités portuaires et insulaires. Ports et îles, de la fraude au contrôle, XVI^{ème}-XX^{ème} siècle. Armand Colin / Recherches, 404 p.

Figuière, C., Metereau, R., 2012. Le secteur agroalimentaire comme point de départ pour une organisation écosystémique des activités humaines. Colloque interdisciplinaire sur l'écologie industrielle et territoriale. Troyes, 17 et 18 octobre 2012.

Fisher, B., Kerry Turner, R., Morling, P., 2008. Defining and classifying ecosystem services for decision making. Ecological economics. 68, 643-653.

Fédération Nationale des Agences d'Urbanisme, 2009. Rapport des observatoires portuaires.

Fleig, A. K., 2000. Eco-industrial parks, a strategy towards industrial ecology in developing and newly industrialized countries, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit.

Fondation Ellen MacArthur, 2013. Vers une économie circulaire (Vol.2) : opportunités pour le secteur des biens de consommation" - Note de synthèse. Disponible en ligne sur : <http://www.ellenmacarthurfoundation.org/fr/francais/leconomie-circulaire/vers-une-economie-circulaire-vol-dot-2-opportunités-pour-le-secteur-des-biens-de-consommation-note-de-synthese#>. Consultée le 5 juillet 2014.

Foulquier, E., 2012. « Politique(s) de l'espace portuaire », L'Espace Politique [En ligne], 16 | 2012-1, mis en ligne le 21 mars 2012, consulté le 11 septembre 2014. URL : <http://espacepolitique.revues.org/2309>

Frontier, S., Pichod-Viale, D., Leprêtre, A, Davoult, D., Luczak, C., 2004. Ecosystèmes : structures, fonctionnement, évolution. Cours, 3^{ème} édition. Dunod, Paris.

Frosch, R.A. and Gallopoulos, N., 1989. Strategies for manufacturing. Scientific American 261(3):144-152.

Fujita, T., 2011. Eco-towns as Policy system for sustainable cities and industries, presentation for Kawasaki Eco-town development. NIES. Tsukuba, Japan, June 4th.

Geels, F.W., 2011. The multi-level perspective on sustainability transitions: Responses to seven criticisms. Environ. Innov. and Soc. Transit. 1. 24–40

Geels, F.W., et Schot, J., 2007. Typology of sociotechnical transition pathways. Research Policy, 36, 399–417.

Georgeault, L. 2015. L'écologie industrielle et son pilotage dans la construction d'une politique publique d'aménagement du territoire en France. Chapitre publié dans l'ouvrage collectif co-dirigé

par Mat, N., Cerceau, J., Alix, Y., (Coord). Economie Circulaire et Ecosystèmes Portuaires. Collection Les Océanides (2015, à paraître).

Giurco, D., Bossilkov, A., Patterson, J., Kazaglis, A., 2010. Developing industrial water reuse synergies in Port Melbourne: cost effectiveness, barriers and opportunities. *J. Clean. Prod.*

Glaeser, E., Kallal Hedi, D., Scheinkman, J.A., Shleifer, A., 1992. Growth in Cities. *The Journal of Political Economy*, 100 (6), pp. 1126-1152

Gößling-Reisemann, S., von Gleich, A., Stührmann, S., Wachsmuth, J., 2012. Climate change and structural vulnerability of a metropolitan energy supply system—The case of Bremen-Oldenburg in Northwest Germany. *J. Ind. Ecol.* 17, 846–858.

Goldstein, J., 1999. Emergence as a Construct : History and Issues. *Emergence : Complexity & Organization*, 1 (1), 49-72.

Gouvernement du Québec, 2013. Portrait de la recherche en développement durable au Québec 2000-2010. Rapport.

Guérassimoff, G., Maïzi, N. (Coords), 2010. Eau et Energie : Destins croisés. Promotion 2009 du Mastère OSE. Presses des Mines.

Hess, G., 2009. L'écosystème industriel. Difficulté épistémologique d'une telle analogie. *Natures Sciences Sociétés*, n°17, p. 40-48.

Holling, C.S., 1973. Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*. Vol 4 :1-23.

Hopkins, C.G., 1910., Soil fertility and permanent agriculture.

Hoyle, B.S., 1989. The port-city interface: trends, problems and examples. *Geoforum* 20 (4), 429-435.

Hubert, B. (Coord.), 2014. Le bassin méditerranéen à l'horizon 2030: Quels défis à relever pour la mer Méditerranée ? Atelier de Réflexion Prospective (ARP) MERMED: Adaptation aux changements environnementaux en mer Méditerranée. Quelles recherches et quels partenariats ? Synthèse des fiches prospectives.

Hughes, T.P., Carpenter, S., Rockström, J., Scheffer, M., Walker, B., 2013. Multiscale regime shifts and planetary boundaries. *Trends in Ecology & Evolution*. Volume 28, Issue 7, July 2013, Pages 389–395.

Illsley, B., Jackson, T., Lynch, B., 2007, "Addressing Scottish rural fuel poverty through a regional industrial symbiosis strategy for the Scottish forest industries sector", *Geoforum* 38 (1), 21–32.

International Agency of Energy (IAE), 2011. Key World Energy Statistics.

Ipemed, 2014. Politiques de gestion et de valorisation des ressources naturelles et renouvelables de l'Union Européenne avec ses partenaires méditerranéens : vers une croissance verte en Méditerranée. Rapport rédigé par Ipemed pour la Direction générale des politiques externes de l'Union. Disponible sur l'internet à l'adresse: <http://www.europarl.europa.eu/activities/committees/studies.do?language=FR>

Ipemed, 2013. Vers une Communauté Euro-méditerranéenne de l'Énergie. Passer de l'import-export à un nouveau modèle énergétique régional. Note de synthèse.

Isenmann R., 2003, "Further Efforts to Clarify Industrial Ecology's Hidden Philosophy of Nature", *Journal of Industrial Ecology*, vol. 6, n°3-4, p.27-48.

ISIGE. Descamps C., Vincent F. Coords, Promotion EnvIM 2014-2015, "Seaports and industrial ecology: key successes from China to France". Rapport d'étude Mai 2015, MS EnvIM, MINES ParisTech - ISIGE.

Jacobs, J., 1969. *The economies of cities*, Random House.

Jacobsen, N.B., 2006. Industrial symbiosis in Kalundborg, Denmark: a quantitative assessment of economic and environmental aspects. *J. Ind. Ecol.*10 (1-2), 239-255.

Janin, M., 2015. ECOCEM, une double stratégie d'approvisionnement local et mondialisé. Capsule professionnelle publiée dans l'ouvrage collectif co-dirigé par Mat, N., Cerceau, J., Alix, Y., (Coord). *Economie Circulaire et Ecosystèmes Portuaires*. Collection Les Océanides (2015, à paraître).

Jit Singh, S., Haberl, H., 2013. Long term Socio-Ecological Research (LTSER). Introducing the concept of social metabolism. Presentation in Institute of Social Ecology, Vienna, Austria.

Jong, C., 2014. Port of Amsterdam: an energy port in transition to a metropolitan port ecosystem. Oral presentation during the 14th World Conference Cities and Ports, Durban.

Jorgensen, S.E., Nielsen, S.N., 2012. Tool boxes for an integrated ecological and environmental management. *Ecological Indicators*. 21, 104–109

Jublan, B., 2004. La nouvelle politique énergétique du Port Autonome de Marseille pour la zone industrielle et portuaire de Fos, note de synthèse, thèse professionnelle de l'ISIGE, Fontainebleau.

Junqua, G., 2004. *Écologie Industrielle de la Zone Industrialo-Portuaire (ZIP) de Fos : Premier bilan et Perspectives* », Rapport de fin d'études DESS Ecologie industrielle, Université de Technologie de Troyes, 83 pages.

Kaya, Y., Yokoburi, K., 1997. *Environment, energy, and economy : strategies for sustainability*. Tokyo. United Nations Univ.

Kennedy, C., Cuddihy, J., Engel-Yan, J., 2007. The Changing Metabolism of Cities. *J. Ind. Ecol.*11. 2.

Kim, E., 2013. Les transitions énergétiques urbaines du XIXe au XXIe siècle : de la biomasse aux combustibles fossiles et fissiles à Paris (France). Thèse de doctorat. Laboratoire Géographies-Cités. Université Paris I Panthéon-Sorbonne

Kim, J., 1999. Making sense of emergence. *Philosophical studies*, 95, 3-36.

Krugman, P., 1991, « Increasing Returns and Economic Geography », *Journal of Political economy*, Volume 99, N°3, June, pp. 483-499.

Krugman, P., 1992, *Geography and Trade*, 2nd Printing, MIT Press, Cambridge, 142 p.

- Krugman, P., 1998 (a), L'économie auto-organisatrice, De Boeck Univ., Bruxelles, 127p.
- Labaronne, D. (Coord), 2014. Villes portuaires au Maghreb, acteurs du développement durable. Presses des Mines - TRANSVALOR, Paris.
- Labbé, J-F., 2014. Limites physiques de la contribution du recyclage à l'approvisionnement en métaux. Dossier. Recyclage & Valorisation n°47, décembre 2014.
- Landais, E., 1996. Typologies d'exploitations agricoles. Nouvelles questions, nouvelles méthodes. In: Économie rurale n°236. pp. 3-15.
- Larrère, R., 2006. L'écologie industrielle : nouveau paradigme ou slogan à la mode. Les ateliers de l'éthique, vol. 1, no. 2, pp. 104-113.
- Laurent, E., et Le Cacheux, J., 2012. Economie de l'environnement et économie écologique. Collection Cursus Economie. Armand Colin, 214 p.
- Lavaud-Letilleul, V. (Coord), 2013. «Développement industrialo-portuaire, enjeux socio-environnementaux et gestion durable des territoires dans les ports de commerce. Réalités françaises, comparaisons internationales ». Programme PISTE (Port – Industrie – Société – Territoire - Environnement). Rapport final.
- Lee, S.W., Dong-Woo, S., Ducruet, C., 2008. A tale of Asia's world ports: the spatial evolution in global hub port cities. Geoforum 39, 372-385.
- Le Grusse, P., 2008. L'eau et l'agriculture dans le bassin méditerranéen. Présentation orale réalisée à Marseille le 22 Juin 2008.
- Le Moigne, J-L., 1994. La théorie du système général. Théorie de la modélisation. Collection Les classiques du réseau intelligence de la complexité.
- Le Moigne, R., 2014. L'économie circulaire, comment la mettre en œuvre dans l'entreprise grâce à la reverse supply chain ? Editions Dunod.
- Lenoir, F., 2012. La guérison du monde. Essai. Fayard, 315 p.
- Lévêque, L., 2014. Du cluster portuaire au système portuaire régional, des territoires structurés par la gestion des flux de marchandises. 2^{ème} Colloque international du Collège international des sciences du territoire (CIST) Front et Frontières des sciences du territoire, 27-28 mars, Paris.
- Lévêque, L., 2012. « Le nouveau rôle des autorités portuaires dans l'adaptation des clusters aux enjeux de la globalisation », L'Espace Politique [En ligne], 16 | 2012-1, mis en ligne le 21 mars 2012. URL : <http://espacepolitique.revues.org/2210> ; DOI : 10.4000/espacepolitique.2210
- Levy, J-C et Auez, V., 2014. L'économie circulaire : un désir ardent des territoires. Transition écologique. Presses des Ponts.
- Levy, J-C et Auez, V., 2014. Un enjeu global pour une utilisation durable des ressources. Les dynamiques de l'économie circulaire en Chine. Annales des Mines – Responsabilité et Environnement n°76, octobre 2014.

- Lhoste, P., 2004. Les relations agriculture-élevage. Agriculture / élevage : nord-sud. OCL Vol. 11 n° 4/5 Juillet-Octobre 2004.
- Liu, C., Côté, R., Zhang, K., 2015. Implementing a three-level approach in industrial symbiosis. Journal of Cleaner Production 87, 318-327
- Loiseau, E., 2014. Élaboration d'une démarche d'évaluation environnementale d'un territoire basée sur le cadre méthodologique de l'Analyse du Cycle de Vie (ACV): Application au territoire du Bassin de Thau. Thèse soutenue le 26 mars 2014.
- Lorgeoux, J., *et al.*, 2012. Rapport d'information de la Commission des Affaires Etrangères, de la Défense et des forces armées au nom du groupe sur la maritimisation. Sénat, n°674.
- Lowitt, P. et Côté, R., 2013. Putting the Eco into Eco Parks. Eco-industrial parks and industrial ecosystems. Journal of Industrial Ecology.
- Mannino, I., Ninka, E., Turvani, M., Chertow, M., 2015. The decline of eco-industrial development in Porto Marghera, Italy. Journal of Cleaner Production (accepted manuscript).
- Marshall, 1890. Principles of Economics, MacMillan, New York, 1890.
- Masbounji, A. (Coord.), 2014. L'énergie au cœur du projet urbain. Collection Ville-Aménagement. Editions du Moniteur, Paris.
- Massard, G., Jacquat, O., Zürcher, D. 2014. Etude internationale sur les parcs d'éco-innovation. Analyse de projets d'éco-innovation en zone industrielle ou urbaine. Office fédéral de l'environnement et l'ERA-NET ECO-INNOVERA, Berne. Connaissance de l'environnement n° 1402: 53 pp.
- Mat, N, Cerceau, J., 2012. Les ports à l'heure de l'écologie industrielle. Panorama international des initiatives collaboratives multi-acteurs autour de la gestion des ressources dans les territoires portuaires. Rapport final. Projet co-financé par l'ADEME.
- Mat, N., Junqua, G., Gonzalez, C., 2013. Comparison of implementation of urban metabolism methodologies: Case study in Aveiro, Barcelona, Marseille. Final Conference Ecotech Sudoe, Toulouse, juin 2013.
- Mat, N., Junqua, G., Cerceau, J., 2014. Ecologie industrielle dans les territoires portuaires. Pratiques internationales et expériences françaises. Techniques de l'ingénieur.
- Mathieu J.-P., 1991. Dictionnaire de physique, Paris, Masson, 567 p.
- May, R.M., 1975. Patterns of species abundance and diversity. In: Ecology and evolution of communities. Harvard Univ. Press, Cambridge, p. 81-120
- MEDDE, 2013. L'économie circulaire. Disponible en ligne. URL: http://www.developpementdurable.gouv.fr/spip.php?page=article&id_article=32923. Consulté le 10 septembre 2014.

- Meijer, M., Adriaens, F., van der Linden, O., Schik, W., 2011. A next step for sustainable urban design in the Netherlands, *Cities*, 28 (6), 536–544.
- Merk, O. 2013. The competitiveness of global port-cities: synthesis report. OECD. URL: <http://www.oecd.org/gov/regional-policy/Competitiveness-of-Global-Port-Cities-Synthesis-Report.pdf>
- Merk, O., Comtois, C., 2012. Compétitivité des villes portuaires: Le cas de Marseille-Fos. OECD Regional Development Working Papers, 2012/11, OECD Publishing, Doi : 10.1787/5k8x9b79bmlw-fr
- Moine, A., 2006. Le territoire comme un système complexe : un concept opératoire pour l'aménagement et la géographie. *L'Espace géographique*. 35, 115 – 132.
- Moine, H. et Giraud, J. 2013. Ecologie industrielle et transition énergétique au sein du Grand Port Maritime de Marseille. Présentation lors du voyage d'étude AIVP à Marseille. 17 octobre 2013.
- Monnet, P., 2004. Ports maritimes et ports fluviaux au moyen âge: XXXVe congrès de la SHMES, la Rochelle, 5 et 6 juin 2004. Société des historiens médiévistes de l'enseignement supérieur public (France).
- Moreau, P., *et al.* 2012. Reconciling technical, economic and environmental efficiency of farming systems in vulnerable areas. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 147, 89– 99.
- Mozas *et al.*, 2013. Vers une Communauté Euro-méditerranéenne de l'Energie. Passer de l'import-export à un nouveau modèle énergétique régional. Note réalisée par l'Ipemed.
- Nevens, F., Frantzeskaki, N., Gorissen, L., Loorbachet, D., 2012. Urban Transition Labs: co-creating transformative action for sustainable cities, *J. Clean. Prod.* <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.12.001>
- Nielsen, S.N., 2007. What has modern ecosystem theory to offer to cleaner production, industrial ecology and society? The views of an ecologist. *Journal of Cleaner Production*. 15, 1639-1653.
- Observatoire du littoral, 2006. Rapport sur la démographie et l'économie du littoral.
- Observatoire National de la Mer et du Littoral, 2011. Fiches thématiques sur les activités économiques littorales et maritimes.
- OCDE, 2013. Vers une croissance plus inclusive de la métropole Aix Marseille: une perspective internationale. Rapport. Disponible sur sur : www.oecd.org/fr/regional
- OCDE, 2014. Statistiques internationales. Disponibles sur : <https://data.oecd.org/fr>.
- Olazabal, M., Pascual, U., 2012. Postulates of urban resilient sustainability transitions: a cross-disciplinary approach. Paper submitted to ISEE 2012 Conference - Ecological Economics and Rio+20: Challenges and Contributions for a Green Economy. Submission date: November 22, 2011
- Olazabal, M., Chelleri, L., 2012. Multidisciplinary perspectives on urban resilience. Workshop Report 1st edition.

Oliver-Solà, J., Josa, A., Rieradevall, J., Gabarrell, X., 2009. Environmental optimization of concrete sidewalks in urban areas. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 14 (4), p. 302-312.

Olsson, G., 2012. *Water and Energy: Threats and Opportunities - First Edition*. IWA Publishing, 300p.

Ometto, A.R., Ramos, P.A.R., Lombardi, G., 2007. The benefits of a Brazilian agro-industrial symbiosis system and the strategies to make it happen. *Journal of Cleaner Production*. 15, 1253-1258.

Orée, 2008. *Mettre en oeuvre une démarche d'écologie industrielle sur un parc d'activités*. Guide.

Ostrom, E., 2009. A General Framework for Analyzing Sustainability of Social-Ecological Systems. *Science*. Vol. 325 no. 5939 pp. 419-422.

Park, H-S., 2013. Ulsan Ecopolis and Eco-Industrial Parks Challenges towards Sustainability - A case in Progress. Presentation in Ecoforum on "Pathway to I-EA-T Eco Industrial Town" 12 Dec., Bangkok, Thailand.

Park, H-S., 2013. Eco-industrial park initiative in Korea. Technician session. Green industry conference.

Park, H-S., Rene, E.R., Choi, S-M., Chiu, A.S.F., 2007. Strategies for sustainable development of industrial park in Ulsan, South Korea—From spontaneous evolution to systematic expansion of industrial symbiosis. *Journal of Environmental Management*, 87, 1–13.

Pichon, S., Dagnet, F., Junqua, G., Mat, N., 2015. Le rôle des ports dans la transition écologique des territoires : innovations technique et organisationnelle sur la plateforme industrielle de Fos-sur-Mer. Capsule professionnelle publiée dans l'ouvrage collectif co-dirigé par Mat, N., Cerceau, J., Alix, Y., (Coord). *Economie Circulaire et Ecosystèmes Portuaires*. Collection Les Océanides (2015, à paraître).

Pillard, O., 2015. Vers une filière innovante et intégrée de démantèlement des navires : enjeux, innovations et applications. Capsule professionnelle publiée dans l'ouvrage collectif co-dirigé par Mat, N., Cerceau, J., Alix, Y., (Coord). *Economie Circulaire et Ecosystèmes Portuaires*. Collection Les Océanides (2015, à paraître).

Pinheiro-Croisel, R., 2014. *Urbanisme durable ou pilotage des collectifs d'innovation*. Presses des Mines, collection Economie et gestion.

Reeves, H. et Lenoir, F., 2003. *Mal de Terre*, Paris, Éditions du seuil, Coll. Science Ouverte, 261 p.

Renault, M., 2014. *Culture et Ville-Port, les nouveaux enjeux du territoire*. Note publiée pour la fondation Sefacil.

Rey, B., 2015. *Résilience systémique d'un territoire composé d'activités essentielles suite à une perturbation majeure - Approches systémique et spatiale*. Thèse de doctorat. Ecole des mines d'Alès.

Rifkin, J., 2013. *La troisième révolution industrielle. Comment le pouvoir latéral va transformer l'énergie, l'économie et le monde*, Éditions Les Liens qui libèrent.

Rockström, J., W. Steffen, K. Noone, Å. Persson, F. S. Chapin, III, E. Lambin, T. M. Lenton, M. Scheffer, C. Folke, H. Schellnhuber, B. Nykvist, C. A. De Wit, T. Hughes, S. van der Leeuw, H. Rodhe, S. Sörlin, P.

K. Snyder, R. Costanza, U. Svedin, M. Falkenmark, L. Karlberg, R. W. Corell, V. J. Fabry, J. Hansen, B. Walker, D. Liverman, K. Richardson, P. Crutzen, and J. Foley. 2009. Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society* 14(2): 32. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/>

Romer, 1986. Increasing Returns and Long-Run Growth". *The Journal of Political Economy*, vol. 94, no. 5., october, 1986, pp. 1002-1037

Ruthen, R., 1993. Complexité et organisation, in *Pour la Science*, mars 1993, N° 185, pp. 32-38 [1].

Scheffer, M., *et al*, 2009. Early-warning signals for critical transitions. *Nature*. Vol. 461-3.

Servigné, P., Vers une agriculture sans pétrole. Présentation lors du séminaire du 12 avril 2012. Institut Momentum.

Seto, K. C, Güneralp, B., Hutyrá, L. R., 2012. Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109, 16083-16088.

Shi H., Tian J., Chen L. 2012: China's quest for eco-industrial parks, Part I. *Journal of Industrial Ecology* 16, 8–10.

Socolow, R., C. Andrews, F. Berkhout and V. Thomas. 1994. *Industrial Ecology and Global Change*. Cambridge University Press.

Sterr, T. et Ott, T., 2004. The industrial region as a promising unit for eco-industrial development—reflections, practical experience and establishment of innovative instruments to support industrial ecology. *J. Clean. Prod.*, 12 (8–10), pp. 947–965.

Sur, S. *et al.*, 2014. Dossier sur les grands ports mondiaux. *Questions internationales* n°70, La documentation française.

Sutherland W.J. *et al.*, 2015. A horizon scan of global conservation issues for 2015. *Trends in Ecology and Evolution* 30(1): 17–24.

Theys, J. et Emelianoff, C., 2001. Les contradictions de la ville durable. *Le Débat* n° 113.

Thomas, L *et al.*, 2014. Agro-écologie et écologie industrielle : deux alternatives complémentaires pour les systèmes d'élevage de demain. *INRA productions animales*, n°2.

Torre, A., 2010. « Jalons pour une analyse dynamique des Proximités », *Revue d'Économie Régionale & Urbaine* 3/2010 (juin), p. 409-437. URL : www.cairn.info/revue-d-economie-regionale-et-urbaine-2010-3-page-409.htm.

Torre, A., 1993. Proximité géographique et dynamiques industrielles, *Revue d'Economie Régionale et Urbaine*, N°3, 431-448.

Tritz, Y., 2013. Développement territorial et valorisation en circuit court des ressources énergétiques locales. Vers des systèmes énergétiques agri-territoriaux ? Thèse de doctorat. Université de Lyon 2, laboratoire d'études rurales.

UNEP, 2011. Towards a Green Economy : Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication, www.unep.org

UPF, non daté. Les ports maritimes français dans les échanges mondiaux. Document en ligne consulté le 8 avril 2015, à l'adresse suivante : <http://www.port.fr/pdf-presentation.html>

Urban morphology and complex systems institute, 2014. Formes urbaines et transition énergétique dans les territoires. Outils et méthodes de planification spatiale et énergétique urbaine. Rapport commandé par la Caisse des Dépôts et Consignations.

Vallega, A., 2001. Urban waterfront facing integrated coastal management. *Ocean Coast. Manag.* 44, 379-410.

van Beneden, P-J., 1875. *Les Commensaux et les parasites dans le règne animal*, 2^{de} éd. Baillière, 1878 ; 1^{re} éd., 1875

van Damme, H., 2014. La ville : un laboratoire de toutes les chimies. Entrée en matière. *Revue L'actualité chimique* - novembre 2014 - n° 390.

van Klink., H.A., 1998. The port network as a new stage in port development: the case of Rotterdam. *Environment&Planning A.* 30 (1), pp. 143-160

Vannier, M., 2008. *Le pouvoir des territoires – Essai sur l'interterritorialité*, Paris, Economica.

Vinzent, J., 2014. Un choc pétrolier affecte le port de Marseille-Fos. *Marsactu*.

von Thünen, 1826. *Der Isolierte Staat in Beziehung auf Landschaft und Nationalökonomie*. Traduit par Wartenberg C.M., (1966) *Von Thünen's Isolated State*. Oxford: Pergamon Press

Wallner, H.P., 1999. Towards sustainable development of industry: networking, complexity and eco-clusters. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 7, No. 1, pp.49–58.

Wang, C., 2014. *La communication du concept d'Economie Circulaire et sa nouvelle définition : approche comparative France-Chine*”, Working papers 2014, Department of Research, Ipag Business School.

Wang M-F., Ming Y-M., Hu P. and Lu S., 2008. Framework of Eco-industrial Park Development Based on Circular Economy: a case study of Ningbo Chemical Industry Zone. *Sci. Geographica Sin.* 28 (5), 624-630.

Yu, C., Davis, C., P.J. Dijkema, G., 2013. Understanding the Evolution of Industrial Symbiosis Research. A Bibliometric and Network Analysis (1997–2012). Research and analysis. *Journal of Industrial Ecology*.

Zimmermann, J.B., 2005. Entreprises et territoires : entre nomadisme et ancrage territorial. *La Revue de l'Ires* 01/2005; 47(1). DOI: 10.3917/rcli.047.0021

Annexes

Annexe 1 – Publication

MAT Nicolas, CERCEAU Juliette, JUNQUA Guillaume, LOPEZ-FERBER Miguel. “ Des approches cloisonnées à l’approche territoriale, plus-value des interactions fonctionnelles dans les territoires industrialo-portuaires”, Conférence interdisciplinaire sur l’écologie industrielle et territoriale. Troyes, 9 octobre 2014



Des approches cloisonnées à l'approche territoriale, plus-value des interactions fonctionnelles dans les territoires industrialo-portuaires

Nicolas Mat^a, Juliette Cerceau^a, Guillaume Junqua^a, Miguel Lopez-Ferber^a

^a LGEI, Ecole Nationale Supérieure des Mines d'Alès, 6, avenue de Clavières, 30319 Alès Cedex, France

Résumé

Dans le contexte actuel de recherche d'une transition écologique et sociale des territoires industrialo-portuaires, il apparaît que les processus d'adaptation et d'optimisation en termes de gestion des ressources sont bien souvent réfléchis et opérés de façon segmentée au sein des différents sous-systèmes (industriel, urbain, portuaire, agricole, touristique, etc.) constitutifs du système Territoire. En prenant pour exemple les démarches d'écologie industrielle menées au sein des territoires industrialo-portuaires, nous montrons qu'au-delà d'approches cloisonnées (de type parc éco-industriel, etc.) ne communiquant que peu entre elles, certaines initiatives à l'interface ville-port ou ville-espace agricole ont pour ambition de décroisonner les sous-systèmes territoriaux et ainsi contribuer à un véritable projet de territoire. Sur la base de ces constats, nous mettons en discussion une première modélisation de l'émergence d'un système « territoire », basé sur de nouvelles formes d'interactions fonctionnelles à l'interface de plusieurs sous-systèmes d'activités présents sur l'espace industrialo-portuaire, créateur d'effets rétroactifs sur les processus d'optimisation actuels de chaque sous-système.

Mots-clés : espaces industrialo-portuaires, adaptation, écologie industrielle et territoriale, interdisciplinarité, interactions, territoire.

1. Introduction

Dans un contexte de foisonnement des initiatives pour engager nos sociétés industrielles vers une nécessaire transition socio-écologique, la plupart des démarches d'optimisation de gestion des ressources semblent aujourd'hui être appréhendées et développées de manière assez segmentée au sein des systèmes territoriaux : la ville souhaite devenir durable, l'agriculture devenir raisonnée ou biologique, l'industrie devenir éco-industrielle, etc. L'ensemble de ces sous-systèmes constitutifs de *ce qui fait territoire*, et les secteurs économiques qui les composent, développent leurs propres initiatives d'amélioration, de comptabilité des flux, etc. Pour ce faire, les acteurs de ces différents sous-systèmes mobilisent des concepts (écologie urbaine, agro-écologie, etc.) parfois très convergents, mais sans nécessairement chercher à investir voire investiguer des passerelles entre ces différents domaines de pensée et d'action. Ces approches font apparaître un certain cloisonnement des stratégies et des modes de mise en œuvre qui tendent, en cherchant à améliorer de façon isolée chacun de ces sous-systèmes, à un certain resserrement des concepts.

Dans les politiques urbaines de ville durable, on constate souvent une relative déconnexion des activités urbaines avec les ressources locales, les flux d'eaux (premier flux en masse consommé en milieu urbain), d'énergie et de matériaux de construction, étant produits et acheminés depuis l'extérieur du système urbain (Barles, 2009 ; Barles *et al.*, 2011). En termes de rejets, on peut faire le même constat, les flux de rejets atmosphériques, d'effluents et de déchets solides étant généralement soit traités soit émis à l'extérieur du système urbain. L'optimisation de la gestion des flux liés aux activités industrielles se concentre sur le procédé et/ou le parc industriel et tente d'y apporter des solutions pour en limiter les niveaux de rejets (*cleaner production*) ou en faire des sites exemplaires (éco-parc). Dans les zones industrialo-portuaires en particulier, les autorités portuaires se concentrent sur une approche aval de gestion des déchets, se bornant à une collecte et au traitement de rejets (principalement des effluents) au niveau du périmètre portuaire. Concernant les activités de pêche, les efforts se concentrent sur la disponibilité de la ressource halieutique, sans considérer de manière plus globale la gestion et le potentiel de valorisation des effluents à terre et en mer. En ce qui concerne l'agriculture, l'approche consiste à considérer le périmètre agricole, à travers la seule appréciation des modes productifs, en déconnexion avec les caractéristiques locales (exemples des problèmes environnementaux liés aux rejets dans les installations hyper-spécialisées en élevage en Bretagne ou réticence quant à la valorisation de déchets urbains sources potentielles de fertilisation des sols et des cultures). L'agro-écologie et l'agro-foresterie tendent ainsi à retrouver une forme autosuffisante de la gestion des ressources à l'échelle des fermes (à l'instar du modèle des systèmes de polyculture-élevage du 19^{ème} siècle).

Ce cloisonnement sectoriel et fonctionnel dans l'approche de la gestion des ressources est souligné et critiqué par un nombre croissant de contributeurs scientifiques dans plusieurs domaines évoqués précédemment. Baret *et al.* (2013) et Calame (2012) invitent par exemple à adopter une approche davantage basée sur l'interdisciplinarité pour aborder et dépasser les verrous actuels de régimes socio-techniques des systèmes alimentaires en transition. Olazabal *et al.* (2012) préconisent également une approche pluridisciplinaire pour aborder et étudier les transitions en cours et à venir en milieu urbain. Billen *et al.* (2012) soulignent l'intérêt des approches multidisciplinaires dans l'étude des dynamiques socio-écologiques de territoires.

Dans un contexte de recherche de formes de transitions socio-écologiques vers des modes plus vertueux et soutenables (*low carbon, zero waste*, etc.), l'écologie industrielle et territoriale constitue un cadre possible de réflexion, de développement méthodologique et d'analyse de nos sociétés humaines. Il est intéressant de constater que ces démarches sont encore peu ou pas développées à des échelles territoriales dépassant le seul cadre des zones d'activités industrielles ou des villes. En effet, plusieurs travaux d'écologie industrielle se rapportent aux seuls systèmes urbains (Kennedy *et al.*, 2007 ; Barles, 2005 ; Barles, 2010 ; Nevens, 2012 ; Olazabal *et al.*, 2012) et industriels (Chertow, 2007 ; Erkman, 2004 ; Giurco *et al.*, 2010). Des travaux moins nombreux apparaissent sur les systèmes agraires (Figuière et Météreau, 2012) et portuaires (Mat *et al.*, 2012). Or, dans sa dimension territoriale, l'écologie industrielle a pour vocation de décloisonner, à travers son approche systémique

menée à une échelle territoriale élargie (Brullot, 2009). Elle a pour ambition de considérer le système territorial dans son ensemble, en prenant en compte l'ensemble de ses composantes urbaines, industrielles, agricoles, touristiques et naturelles.

Les espaces côtiers à vocation industrialo-portuaire, de par la coexistence et la proximité de plusieurs types d'utilisation des sols et d'activités humaines sont très emblématiques de cette problématique du cloisonnement/décloisonnement des approches de gestion des ressources. Après avoir démontré l'intérêt de ces espaces singuliers pour notre analyse, nous nous attacherons à mettre en évidence qu'au-delà d'approches cloisonnées au sein de sous-systèmes spécifiques (industriels, urbains), des initiatives industrialo-portuaires tendent à mettre en synergie ces sous-systèmes vers la structuration d'une approche territoriale de la gestion des ressources. Ces constats seront illustrés par des initiatives d'écologie industrielle menées en Afrique du Nord, en Asie et en Europe.

2. Cadre d'étude : espaces industrialo-portuaires et spécialisation spatiale et fonctionnelle

Les espaces industrialo-portuaires constituent, dans un contexte d'échanges mondialisés, des éléments essentiels du modèle socio-économique actuel basé sur une énergie abondante, disponible et à faible coût. Pour les pays dotés d'un accès à la mer, ils constituent en effet les points de passage privilégiés pour les principaux flux de matières et d'énergie. A la fois cause et conséquence, leur évolution historique est marquée, à partir de la moitié du 20^{ème} siècle, par la concentration d'activités industrielles « lourdes » (aciéries, pétrochimie, etc.). Cette dynamique industrielle côtière, qui contribue jusqu'à 25% de la production primaire mondiale, renvoie à l'autre enjeu de ces territoires : faire co-exister des activités à fortes nuisances au sein de territoires anthropisés (usages urbains et agricoles) et naturels (présence d'écosystèmes littoraux fragiles et protégés telles que les zones Natura 2000 ou les réserves naturelles. A l'échelle mondiale, 60% de la population vit d'ores et déjà sur des zones urbanisées côtières et cette proportion devrait augmenter d'ici 2020 (Vallega, 2001). En outre, ces territoires sont confrontés à des phénomènes et contraintes exogènes (changements climatiques, évolution des stratégies industrielles, etc.) qui leur imposent de s'adapter continuellement, afin de rester compétitifs dans le jeu mondial de la concurrence (Merk, 2013), mais également de limiter leur vulnérabilité locale et ses conséquences (délocalisation et pertes d'emplois, secteurs industriels et urbains sinistrés, etc.).

L'évolution de ces territoires pose ainsi régulièrement la question d'un aménagement cohérent de l'espace industrialo-portuaire (Lavaud-Letilleul *et al*, 2013), confronté aux conflits d'usage des sols et des ressources limitées entre les activités industrielles, portuaires (logistique, pêche, nautisme et tourisme), urbaines, agricoles et naturelles (zones protégées). Face à ces enjeux et conflits multiples, la spécialisation spatiale a constitué progressivement une des conséquences des stratégies de redéploiement des emprises industrialo-portuaires. La ville ne cessant de croître en s'étalant, et non en se densifiant, les zones industrialo-portuaires se sont en parallèle déportées des bassins historiques vers des espaces moins contraignants. Par exemple à Fos sur Mer dans les années 60-70, des zones entièrement dédiées à l'industrie et à la logistique portuaire, ont été créés sans réel souci de conservation de liens entre la ville et le port. Du fait de cette dynamique de connexion-déconnexion Ville-Port (Hoyle, 1989 ; Ducruet, 2008) et de l'éloignement des terminaux, notamment des centres urbains, les ports sont devenus des territoires inconnus pour la plupart des citoyens (Lévêque, 2012). Cette expansion géographique des emprises portuaires et urbaines s'est généralement faite au détriment direct des espaces naturels et agricoles, avant l'entrée en vigueur de nouvelles directives de protection des espaces naturels sensibles (Natura 2000, Oiseaux et habitats) et agricoles (Plan Locaux d'Urbanisme, Schéma de Cohérence Territoriale).

Les territoires industrialo-portuaires sont ainsi difficiles à appréhender dans leur complexité. Foulquier (2012) attribue en grande partie cette complexité à l'appropriation géographique de l'espace portuaire qui est un espace à géographie plurielle, situé à la confluence de réseaux maritimes et terrestres, au service tout à la fois de l'économie locale et de celle du monde. Ils intègrent en effet des composantes urbaine, industrielle et agricole, elles-mêmes engagées à leur propre échelle dans des politiques de

développement durable. Cette mosaïque de sous-systèmes constitue ainsi le périmètre du système (territoire) industrialo-portuaire ici considéré.

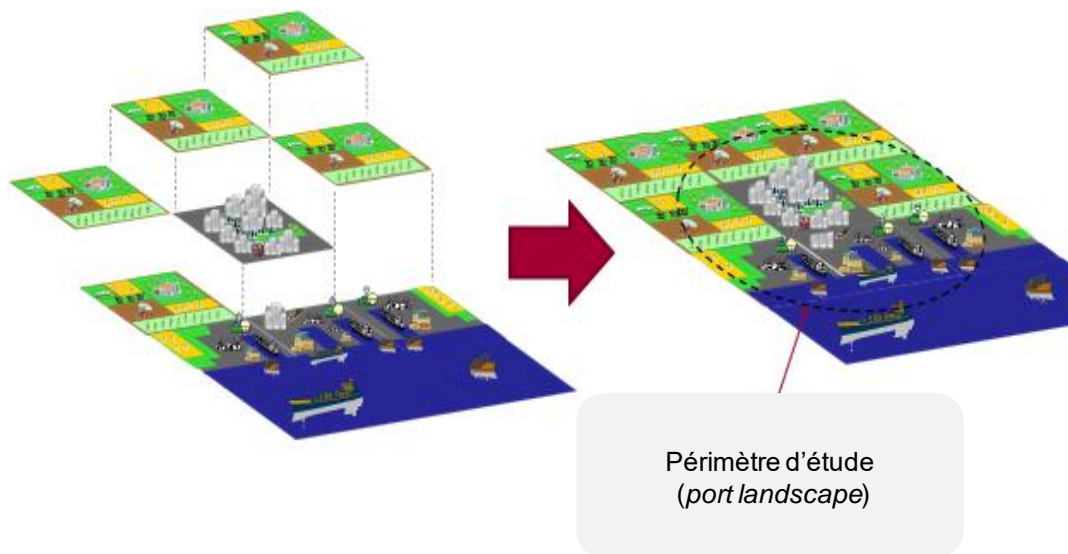


Figure 1. Périmètre considéré d'un territoire industrialo-portuaire

3. D'approches centrées sur les zones industrialo-portuaires à des approches décloisonnées

3.1 L'écologie industrielle à l'échelle des zones industrialo-portuaires

Cerceau *et al.* (2014) ont mis en évidence, dans le cadre d'un retour d'expériences menées à l'échelle internationale, qu'un grand nombre d'initiatives d'écologie industrielle et territoriale sont d'abord réfléchies et mises en œuvre à la seule échelle des Zones Industrialo-Portuaires (ZIP). Ces initiatives donnent lieu à des interactions entre industries portuaires (chimie, pétrochimie, sidérurgie, cimenterie, etc.) au sein de complexes industriels cloisonnés. Par exemple, le site industrialo-portuaire de Béjaïa en Algérie opère des synergies éco-industrielle à la seule échelle de la ZIP (Labaronne *et al.*, 2014), principalement autour d'une entreprise « pivot » : Cevital. Cette dernière est impliquée dans des boucles éco-industrielles, tant en termes d'optimisation de la gestion des déchets (résidus de raffinage et d'opérations de conditionnement, acides et corps gras) que d'optimisation énergétique ou de gestion des eaux usées et d'énergie. A Osaka (Japon), des synergies de substitution par échanges de flux énergétiques sont opérées entre Osaka Gas Company (opérateur d'un terminal méthanier) et des industries voisines, fortement consommatrices d'utilités énergétiques de qualité diverse (vapeur, froid, etc.).

Les territoires industrialo-portuaires français ne font pas exception à cette tendance observée à l'échelle internationale : l'engagement et les initiatives en termes d'optimisation de la gestion des ressources sont d'abord réfléchies et implémentées de manière segmentée par sous-systèmes : industriel, urbain, agricole, touristique (Collectif, 2013; Mat *et al.*, 2014). Des démarches de type « ville durable », « agriculture soutenable ou biologique », « parcs éco-industriels », etc. sont menées en parallèle, de façon souvent indépendantes et ne communiquant que peu entre elles. Par ailleurs, on constate une spécialisation croissante des activités au sein même de ces différents sous-systèmes. Sur la ZIP de Fos sur Mer par exemple et plus globalement sur le pourtour de l'Etang de Berre, les échanges de flux de matières et d'énergie se sont développées de longue date au sein et entre les filières chimiques, pétrochimiques, sidérurgiques et énergétiques. Les frigories générées par le terminal méthanier de Fos Tonkin sont par exemple revalorisées par le site industriel d'Air Liquide

(production d'azote), situé à proximité, qui lui-même renvoie un flux énergétique « chaud » utilisé dans le processus de regazéification du GNL opéré par Elengy.

Eu égard aux enjeux et à la complexité auxquels sont confrontés les territoires portuaires (Foulquier, 2012), on peut craindre que cette approche unique basée sur la seule optimisation de chacun des sous-systèmes ne permette finalement pas de relever les défis qui se posent. Pour atteindre un optimum écologique et économique, faut-il continuer à traiter de manière isolée ces différents sous-systèmes, en cherchant à les optimiser ou existe-t-il un intérêt à davantage faire co-exister et collaborer ces différents sous-systèmes composant l'espace portuaire ? Ces sous-systèmes, considérés dans le cadre de politique de développement et d'aménagement de manière autonomes, sont en réalité poreux et en interaction étroite avec des systèmes extérieurs à leur périmètre. Cette porosité et interaction permanente laisse entrevoir l'intérêt de la coopération et d'une juste articulation entre les différents sous-systèmes des espaces portuaires.

Sur le terrain, des initiatives menées à l'interface port-ville ou port-espace agricole illustrent cette tendance à décroquer les approches d'écologie industrielle en tendant vers une plus grande complexité du système territorial et une plus grande interaction fonctionnelle entre les différents sous-systèmes qui le composent. Le port constitue alors un véritable levier pour la mise en œuvre et l'instauration de ces interactions avec les secteurs urbains et agricoles situés à proximité plus ou moins immédiate des Zones Industrielles-Portuaires (ZIP) (Cerceanu *et al.*, 2014). Certaines démarches présentent ainsi une diversité de synergies intéressante. En résulte l'existence d'interactions sectorielles et fonctionnelles entre les sous-systèmes industriel-portuaires, agricoles et urbains, révélatrices et contributrices d'un projet davantage territorialisé et décroqué.

3.2 Interactions entre industries portuaires et espaces urbains

Plusieurs cas recensés et étudiés font apparaître des synergies opérées entre les systèmes industrialo-portuaires et urbains. En Europe, Kalundborg ou Rotterdam figurent parmi les exemples les plus étudiés (Côté et Cohen-Rosenthal, 1998; Ehrenfeld et Chertow, 2002; Jacobsen, 2006, Baas et Boons, 2004 ; Baas et Boons, 2007) et les plus emblématiques de cette typologie de relations Ville-Port, qui s'opèrent très souvent à travers la réalisation de réseaux de chaleur urbains alimentés par les excédents d'énergie des ZIP voisines. En France, le territoire dunkerquois a également développé, depuis 1986, un vaste réseau de chaleur (100 MW), qui permet de capter et valoriser les excédents thermiques des hauts fourneaux sidérurgiques d'Arcelor-Mittal. Ce réseau alimente en chaleur 16 000 équivalents logements (collectifs et bureaux).

Des illustrations concrètes de synergie entre la Ville et le Port sont également observées en Afrique du Nord. Par exemple, l'Office Chérifien des Phosphates (OCP) au Maroc développe une approche centrée sur le complexe industrialo-portuaire de Jorf Lasfar mais également une approche plus « territoriale » si l'on prend en compte dans l'échelle d'analyse les sites d'extraction et de traitement primaire des minerais (Labaronne *et al.*, 2014). Une grande diversité de synergies sont ainsi développées (échanges de flux et d'utilités, mutualisation de services et de personnels, etc.) au profit de l'entreprise d'Etat, de ses partenaires commerciaux via des joint-ventures (logique de *Plug and Play* des installations sur le minéroduct) et des collectivités voisines des activités industrielles d'extraction et de transformation.

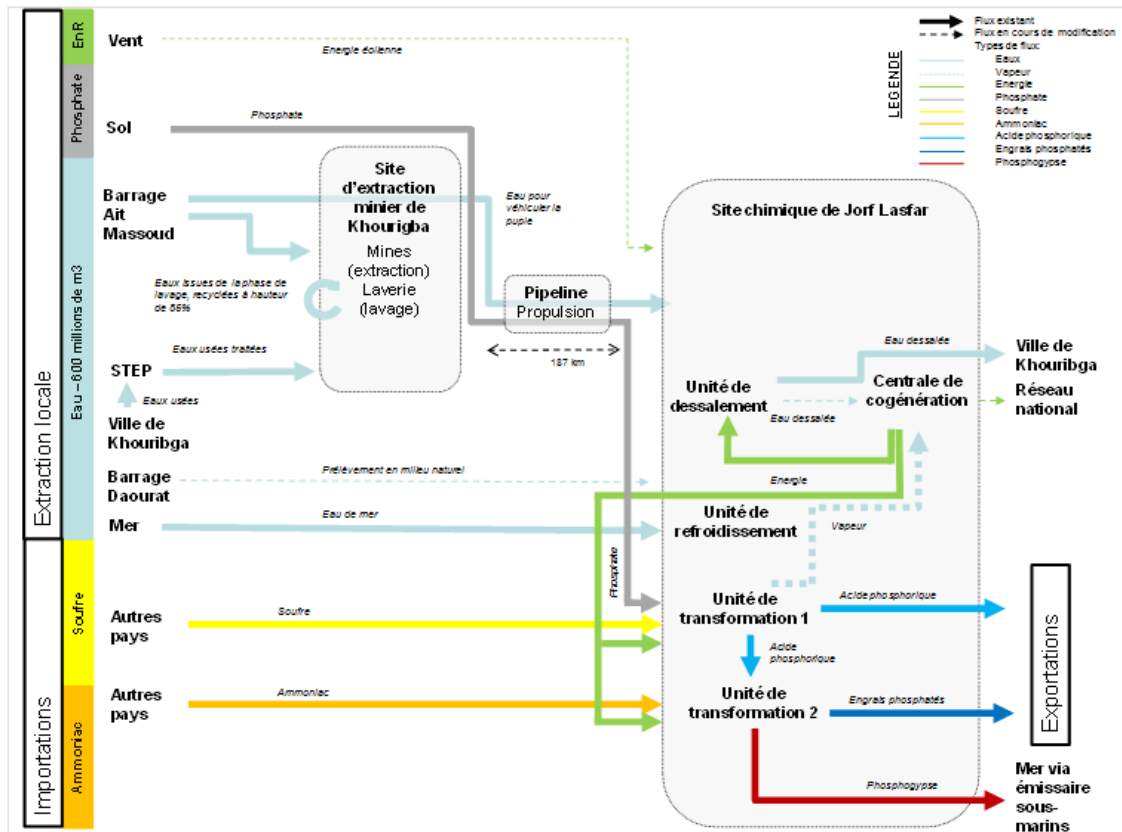


Figure 2. Métabolisme de l'OCP sur le territoire portuaire de Jorf Lasfar (source : Cerceau, J. 2012)

L'OCP a ainsi amélioré son process (Figure 2) permettant un recyclage de 85% des eaux en circuit fermé et une diminution de la consommation totale en eau de 15 million de m³ par an. Au-delà de générer des gains économiques substantiels pour la filière industrielle de production d'engrais phosphatés, cet investissement bénéficie également aux collectivités voisines en diminuant l'impact de la production d'engrais et d'acide phosphorique de Jorf Lasfar sur la ressource en eau.

3.3 Interactions industrielles portuaires et espaces agricoles

D'autres cas étudiés font apparaître des synergies opérées entre les systèmes industrialo-portuaires et agricoles situés à proximité. Figuière et Météreau (2012) soulignent à ce titre l'intérêt d'une plus grande intégration du système agricole en écologie industrielle.

En Europe, un exemple aujourd'hui bien référencé est développé sur le domaine industrialo-portuaire de Zeeland aux Pays-Bas. Le Biopark de Terneuzen a été développé à l'échelle d'un cluster, au sein duquel les entreprises ont spontanément développé des synergies éco-industrielles depuis 2007 (échanges d'utilités thermiques et de CO₂, d'eau, de biomasse, etc.).

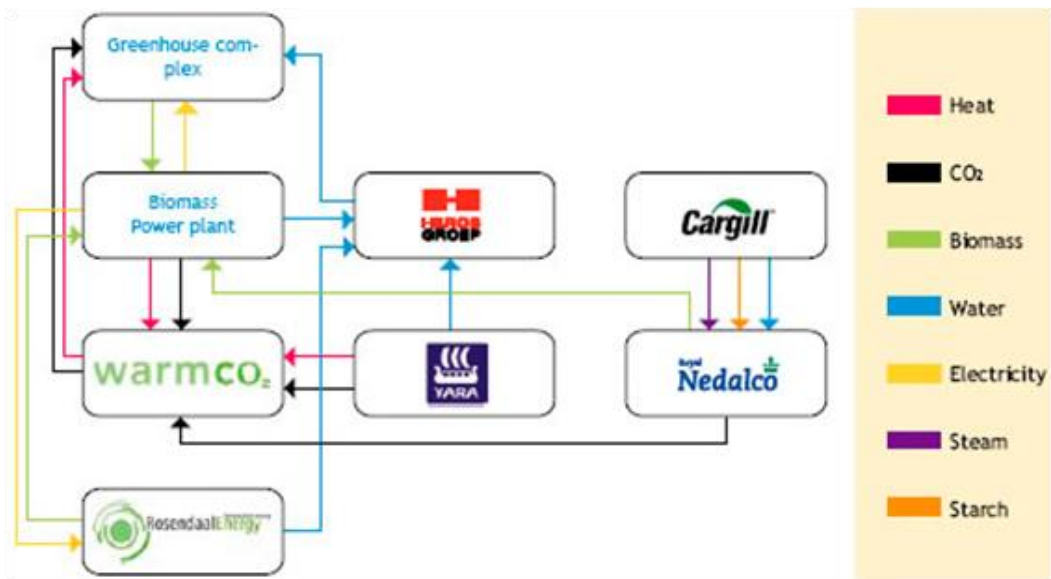


Figure 3. Synergies du Biopark Terneuzen (source : <http://www.bioparkterneuzen.com>)

Parmi les synergies existantes, la *Warm CO₂ initiative* permet de récupérer des rejets de chaleur et de CO₂ de l'entreprise Yara afin d'alimenter des serres agricoles et horticoles implantées à proximité du complexe industriel chimique (Figure 3).

En Asie, au sein du complexe industrialo-portuaire d'Ulsan (Corée du Sud), plus de 27 symbioses industrielles ont d'ores et déjà été mises en œuvre (Park, 2013). De nouvelles connexions apparaissent à l'interface avec les activités agricoles et urbaines. Par exemple, l'entreprise pétrochimique SK Energy valorise des excédents thermiques de son process chez ces voisins industriels et envisage de répondre en partie, par un réseau de chaleur, aux besoins du secteur urbain d'Ulsan. Le site de valorisation énergétique des déchets d'Ulsan, situé sur la ZIP, capte et revalorise, par un bio-digesteur, une part croissante de ressources locales en mélange, provenant du milieu urbain (boues de station d'épuration) et du milieu agricole (lisier d'élevage porcin, etc.). Le méthane ainsi produit est utilisé comme source d'énergie pour produire de la vapeur, consommée ensuite par les différentes industries de la ZIP (papeterie, etc.).

4. Discussion et perspectives de recherche

L'approche transversale et décloisonnée, tant louée dans le cadre des politiques publiques de développement durable, est finalement peu observée sur le terrain, au détriment notamment de l'émergence d'un véritable projet de territoire en termes d'écologie industrielle. Il serait intéressant d'étudier en quoi une approche territoriale élargie, quasi inexistante à l'heure actuelle, et pouvant s'appuyer sur les principes de l'écologie industrielle et territoriale, pourrait permettre de révéler de nouvelles opportunités et constituer un gain potentiel supérieur à la simple addition des initiatives et processus d'optimisation de chaque sous-système. Ces derniers s'inscrivent dans des approches qui se réclament de principes différents. Or il conviendrait de vérifier les liens existants et potentiels entre ces approches, ainsi que leur capacité à parvenir à des constats similaires (intérêt d'un décloisonnement des démarches, besoin d'une gouvernance élargie, besoins de nouvelles interactions entre parties prenantes, etc.). Ces constats posent ainsi la question de la pertinence de développer des approches décloisonnées du point de vue scientifique (enjeu de l'interdisciplinarité), politique (processus de construction territoriale telle que la métropolisation) et opérationnel (enjeu des interactions fonctionnelles), en s'appuyant sur le contexte spécifique des territoires industrialo-portuaires.

De futurs travaux de recherche proposent ainsi d'explorer et d'explicitier les termes de l'équation suivante, posée ici comme hypothèse :

$$\sum(I_{IP}+I_A+I_U) < \sum(I_{IP}+I_A+I_U) + I_T < \sum(I_{IP} * t_{IP} + I_A * t_A + I_U * t_U) + I_T$$

1

2

Valeur ajoutée territoriale (indépendante)

3

Paramètres qui expriment l'influence du système T

Création de l'interdépendance (maillage, complexité) et augmentation de la résilience

Dans laquelle :

- I_{IP} : Initiatives d'optimisation de la gestion des ressources dans le sous-système industrialo-portuaire
- I_A : Initiatives d'optimisation de la gestion des ressources dans le sous-système agricole
- I_U : Initiatives d'optimisation de la gestion des ressources dans le sous-système urbain
- I_T : Initiatives d'optimisation de la gestion des ressources au niveau du système territorial (approches décloisonnées)
- t_x : Facteur d'interaction des autres sous-systèmes sur le système considéré.

Le **terme 1** serait celui généralement observé à l'heure actuelle, dans la majorité des territoires industrialo-portuaires, caractérisé par un cumul d'approches cloisonnées par sous-systèmes. Le **terme 2** pourrait alors correspondre à la tendance de certains territoires à vouloir reconsidérer leur approche de gestion des ressources à une échelle élargie (dans le cadre de processus de métropolisation notamment tels qu'observés à l'échelle d'Aix-Marseille Provence en France) : l'ambition de définition et de représentation territoriale reste principalement au stade politique et n'influence que peu les pratiques au sein de chacun des sous-systèmes. L'approche proprement territoriale (**terme 3**) introduirait des facteurs prompts à influencer les pratiques de chacun des sous-systèmes, produisant de fait une nouvelle interdépendance entre sous-systèmes. Au-delà de la juxtaposition de sous-systèmes vertueux en termes de gestion des ressources, il s'agit ici de favoriser l'émergence d'un système « territoire » support de la résilience de ces espaces et créateur d'effets rétroactifs pouvant influencer sur l'optimisation de chaque sous-système. En analogie avec les écosystèmes, le système territorial tendrait alors vers une complexité croissante, faisant émerger de par les interactions entre les composantes industrielles, urbaines et agricoles un système « territoire » complexe qui, à l'instar des propriétés émergentes, ne peut se déduire des lois qui régissent ces composantes (Cerceau, 2013). En retour, ce système « territoire », par une causalité descendante (Kim, 1999), aurait pour impact de modifier les composantes territoriales, en densifiant notamment le système d'interactions qui les lient.

Ces futurs travaux de recherche posent ainsi la question du caractère suffisamment intégratif de l'écologie industrielle et territoriale (Brullot *et al.*, 2014 ; Buclet, 2011) comme cadre conceptuel global permettant d'appréhender la complexité de cette dynamique locale nouvelle de gestion des ressources à l'échelle d'un territoire, et ce quel que soient les secteurs économiques représentés. Il s'agit en effet de s'assurer que l'écologie industrielle, menée à une échelle territoriale, en renouvelant les interactions entre les composantes de ce système, contribue effectivement à une plus grande efficacité de la gestion des ressources et à une plus grande résilience ou adaptabilité des territoires.

5. Conclusion

Les systèmes territoriaux industrialo-portuaires présentent l'intérêt d'être constitués des sous-systèmes industriels, portuaires, urbains et agricoles. Ces derniers font aujourd'hui l'objet de nombreuses démarches respectives en termes d'optimisation de la gestion des ressources (politiques, actions, plans, etc.). L'observation d'initiatives, issu d'un retour d'expériences effectué à une échelle internationale, fait ressortir un faible découplage territorial des démarches d'écologie industrielle. Cet article pose la question du potentiel de développement d'interactions fonctionnelles pouvant être tissées entre différents sous-systèmes territoriaux (urbains, industriels, agricoles) dans une optique d'optimisation constante et élargie de la gestion des ressources. Il pose aussi la question de l'intérêt d'un tel découplage en modélisant en quoi une approche davantage territorialisée pourrait constituer une plus-value pour ces systèmes territoriaux stratégiques. Au regard des dynamiques actuellement relevées sur le terrain, notamment en France, nous proposons de qualifier ces processus de transition à travers une équation basée sur trois stades d'évolution vers une plus grande territorialisation des démarches d'écologie industrielle, qu'il conviendrait de valider, compléter, affiner et critiquer par la suite dans le cadre de travaux de recherche ultérieurs.

Références

- Baas, L., Boons, F., 2004. An industrial ecology project in practice: exploring the boundaries of decision-making levels in regional industrial systems. *J. Clean. Prod.* 12, 8–10, 1073–1085
- Baas, L., Boons, F., 2007. The introduction and dissemination of the industrial symbiosis projects in the Rotterdam Harbour and Industry Complex. *Environ. Technol. Manag.* 7 (5-6), 551-577
- Baret, V., P., Stassart, P.M., Vanloqueren, G., Van Damme, J., 2013. Dépasser les verrouillages de régimes socio-techniques des systèmes alimentaires pour construire une transition agroécologique. 1er congrès interdisciplinaire du développement durable - Quelle transition pour nos sociétés ? Namur (janv-fév. 2013).
- Barles, S., 2005. Le métabolisme urbain : l'azote, XIXe-XXe siècle. Rapport dans le cadre du projet PIREN-Seine (extraits)
- Barles, S., 2009. Urban Metabolism of Paris and Its Region. *J. Ind. Ecol.* 13. 6.
- Barles, S., 2010. Les villes : parasites ou gisements de ressources ? Article publié dans *lavedesidees.fr* (25 mai 2010)
- Barles, S., Billen, G., Chatzimpiros, P., Kim, E., Garnier, J., Silvestre, M., 2011. Ville et fonctionnement du bassin de la Seine : matériaux de construction, sol, énergie, alimentation. Contribution à une écologie territoriale. PIREN-Seine. Phase V – Rapport de synthèse 2007-2010.
- Billen, G., Garnier, J., Némery, J., Sebilo, M., Sferratore, A., Barles, S., Benoit, P., Benoit, M., 2007. A long-term view of nutrient transfers through the Seine river continuum. *Sci. Total. Environ.* 375. 80.
- Billen G., Garnier J., Barles S., 2012. History of the urban environmental imprint: Introduction to a multidisciplinary approach to the long-term relationships between western cities and their hinterland *Regional Environmental Change* 12, 2 (2012) 249-253 - <http://hal-enpc.archives-ouvertes.fr/hal-00808437>
- Brulot, S., 2009. Mise en œuvre de projets territoriaux d'écologie industrielle en France: vers un outil méthodologique d'aide à la décision. Thèse de doctorat, Université de Technologie de Troyes.
- Brulot, S., Maillfert, M., Joubert, J., 2014. « Stratégies d'acteurs et gouvernance des démarches d'écologie industrielle et territoriale », *Développement durable et territoires* [En ligne], vol. 5, n°1 | février 2014, mis en ligne le 04 février 2014, consulté le 07 mai 2014. URL: <http://developpementdurable.revues.org/10082> ; DOI : 10.4000/developpementdurable.10082
- Buclet, N., 2011. *Écologie industrielle et territoriale, stratégies locales pour un développement durable*, Septentrion Presses Universitaires, 336p.
- Calame, P., 2012. Discours d'ouverture aux 1ères rencontres francophones de l'écologie industrielle et territoriale à Troyes. 17 octobre 2012.
- Cerceau, J., 2013. *L'écologie industrielle comme processus de construction territoriale : application aux espaces portuaires*. Thèse de doctorat, Ecole des Mines d'Alès.
- Cerceau, J., Mat, N., Junqua, G., Lin, L., Laforest, V., Gonzalez, C., 2014. Implementing industrial ecology in port cities : international overview of case studies and cross-case analysis. *J. Clean. Prod.* 74, 1-16.

- Chertow, M., 2007. "Uncovering" Industrial Symbiosis. *J. Ind. Ecol.* 11. 1.
- Collectif, 2013. Séminaire national sur l'écologie industrielle dans les territoires portuaires. Document de synthèse. Paris, le 4 avril 2013.
- Côté, R., Cohen-Rosenthal, E., 1998. Designing eco-industrial parks: a synthesis of some experiences. *J. Clean. Prod.* 6 (3-4), 181-188.
- Ducruet, C., 2008. « Typologie mondiale des relations ville-port », *Cybergeo: Eur. J. Geogr.* [Online], Space, Society, Territory, document 417, Online since 27 March 2008, connection on 19 June 2013. URL : <http://cybergeo.revues.org/17332> ; DOI : 10.4000/cybergeo.17332
- Ehrenfeld, J., Chertow, M., 2002. Industrial symbiosis: the legacy of Kalundborg. In: Ayres, R. (Ed.), *A Handbook of Industrial Ecology*. Edward Elgar, Northampton, USA.
- Erkman, S., 2004. *Pour une écologie industrielle*. Editions Charles Leopold Mayer.
- Figuière, C., Metereau, R., 2012. Le secteur agroalimentaire comme point de départ pour une organisation écosystémique des activités humaines. Colloque interdisciplinaire sur l'écologie industrielle et territoriale. Troyes, 17 et 18 octobre 2012.
- Foulquier, E., 2012. « Politique(s) de l'espace portuaire », *L'Espace Politique* [En ligne], 16 | 2012-1, mis en ligne le 21 mars 2012, consulté le 11 septembre 2014. URL : <http://espacepolitique.revues.org/2309>
- Giurco, D., Bossilkov, A., Patterson, J., Kazaglis, A., 2010. Developing industrial water reuse synergies in Port Melbourne: cost effectiveness, barriers and opportunities. *J. Clean. Prod.*
- Hoyle, B.S., 1989. The port-city interface: trends, problems and examples. *Geoforum* 20 (4), 429-435.
- Jacobsen, N.B., 2006. Industrial symbiosis in Kalundborg, Denmark: a quantitative assessment of economic and environmental aspects. *J. Ind. Ecol.* 10 (1-2), 239-255.
- Kennedy, C., Cuddihy, J., Engel-Yan, J., 2007. The Changing Metabolism of Cities. *J. Ind. Ecol.* 11. 2.
- Kim, J., 1999. Making sense of emergence. *Philosophical studies*, 95, 3-36.
- Labaronne, D. (Coord), 2014. *Villes portuaires au Maghreb, acteurs du développement durable*. Presses des Mines - TRANSVALOR, Paris.
- Lavaud-Letilleul, V. (Coord), 2013. « Développement industrialo-portuaire, enjeux socio-environnementaux et gestion durable des territoires dans les ports de commerce. Réalités françaises, comparaisons internationales ». Programme PISTE (Port – Industrie – Société – Territoire - Environnement). Rapport final.
- Lévêque, L., 2012. « Le nouveau rôle des autorités portuaires dans l'adaptation des clusters aux enjeux de la globalisation », *L'Espace Politique* [En ligne], 16 | 2012-1, mis en ligne le 21 mars 2012. URL : <http://espacepolitique.revues.org/2210> ; DOI : 10.4000/espacepolitique.2210
- Mat, N., Cerceau, J., 2012. Les ports à l'heure de l'écologie industrielle. Panorama international des initiatives collaboratives multi-acteurs autour de la gestion des ressources dans les territoires portuaires. Rapport final. Projet co-financé par l'ADEME.
- Mat, N., Junqua, G., Cerceau, J., 2014. *Ecologie industrielle dans les territoires portuaires. Pratiques internationales et expériences françaises*. Techniques de l'ingénieur.
- Merk., O. 2013. The competitiveness of global port-cities: synthesis report. OECD. URL: <http://www.oecd.org/gov/regional-policy/Competitiveness-of-Global-Port-Cities-Synthesis-Report.pdf>
- Nevens, F., Frantzeskaki, N., Gorissen, L., Loorbachet, D., 2012. Urban Transition Labs: co-creating transformative action for sustainable cities, *J. Clean. Prod.* <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.12.001>
- Olazabal, M., Pascual, U., 2012. Postulates of urban resilient sustainability transitions: a cross-disciplinary approach. Paper submitted to ISEE 2012 Conference - Ecological Economics and Rio+20: Challenges and Contributions for a Green Economy. Submission date: November 22, 2011
- Olazabal, M., Chelleri, L., 2012. *Multidisciplinary perspectives on urban resilience*. Workshop Report 1st edition.
- Park, H-S., 2013. Ulsan Ecopolis and Eco-Industrial Parks Challenges towards Sustainability - A case in Progress. Presentation in Ecoforum on "Pathway to I-EA-T Eco Industrial Town" 12 Dec., Bangkok, Thailand.
- Vallega, A., 2001. Urban waterfront facing integrated coastal management. *Ocean Coast. Manag.* 44, 379-410.

Annexe 2 – Publication

CERCEAU, J., DONSIMONI, M., LABARONNE, D., MAT, N., 2014. Ecologie industrielle dans les territoires portuaires du Maghreb. Cas de Jorf Lasfar (Maroc) et Bejaïa (Algérie) dans LABARONNE, D. (Coord). Villes portuaires au Maghreb, acteurs du développement durable. Presses des Mines - TRANSVALOR, Paris (2014)

Ecologie industrielle dans les territoires portuaires du Maghreb. Cas de Jorf Lasfar (Maroc) et Bejaïa (Algérie)

Juliette Cerceau, Myriam Donsimoni, Daniel Labaronne, Nicolas Mat

Introduction

L'émergence du concept d'écologie industrielle, à la fin des années 1980, coïncide avec la publication du Rapport Brundtland sur le développement durable et avec les nouvelles préoccupations en termes de Responsabilité Sociale des Organisations (RSO). La pratique de l'écologie industrielle apparaît dès lors comme une démarche visant à relever les défis de la performance économique, du bien-être social et de la protection environnementale à l'échelle d'un territoire. Cette pratique s'institutionnalise en France, en tant qu'« écologie industrielle et territoriale » (Brullot *et al.* 2012), et s'opérationnalise en « symbioses industrielles » (Chertow, 2000).

L'écologie industrielle est définie comme une approche globale du système industriel interprété comme un écosystème biologique (Frosch et Gallopoulos, 1989). Basée sur l'analyse des flux de matières et d'énergie, cette approche du management environnemental vise à limiter les impacts sur l'environnement par la recherche de synergies organisationnelles entre les acteurs économiques. L'écologie industrielle propose une approche des interdépendances entre activités, afin de valoriser les résidus ou sous-produits d'une activité dans le processus de production d'une autre. Elle nécessite et initie de nouveaux schémas d'organisation industrielle, de gouvernance et de partenariat entre acteurs économiques géographiquement proches au sein des territoires.

Les territoires portuaires intègrent de plus en plus cette approche innovante de gestion de leurs ressources et de leurs déchets, y voyant un facteur de différenciation non négligeable, dans un contexte mondial très compétitif (Mat et Cerceau 2012). Ces territoires sont porteurs d'enjeux forts. Ils représentent des portes nationales d'échanges et de concentration de flux de matières et d'énergie. Ils regroupent les membres d'une communauté portuaire (entreprises privées et publiques, prestataires de services, représentants de l'Etat, collectivités locales) dont les activités complémentaires sont coordonnées sur un mode marchand ou non marchand. Ces acteurs partagent un certain nombre de références cognitives et de contraintes, celles-ci pouvant être de nature géographique, par exemple la dynamique spatiale des ports (Ducret, 2005), de nature organisationnelle avec des réalités souvent complexes (Fassio et Lemestre, 2009), ainsi que de nature institutionnelle, de par les évolutions fréquentes du cadre réglementaire et légal et par l'adoption de politiques publiques de privatisation, de déréglementation et de décentralisation des infrastructures de transport (Rodrigue *et al.* 2006).

L'espace portuaire, du fait de sa spécificité, induit par conséquent une « territorialisation » des modes de coordination entre les acteurs. Le territoire industrialo-portuaire se prête ainsi à une démarche « proximiste » qui tente d'endogénéiser l'espace à travers une démarche d'économie industrielle et d'économie régionale (Bouba-Olga *et al.* 2008). Dès lors, l'espace portuaire apparaît déterminé par une forme d'« imbrication sociale » (Ashton, 2008 ; Boons et Howard-Grenville, 2009), autrement dit par les conditions culturelles, socioéconomiques et structurelles, dans lesquelles s'inscrivent le métabolisme portuaire et l'émergence de dynamiques collaboratives autour de la gestion des ressources.

Si de nombreuses études de cas se sont intéressées aux pratiques d'écologie industrielle dans les territoires portuaires à travers le monde (Baas, 2000; Fleig, 2000; Gibbs and Deutz, 2005; Park and Won, 2008; Boehme *et al.*, 2009, Domenech et Davies, 2011), aucune à notre connaissance n'a porté son attention sur une étude comparative des démarches d'écologie industrielle dans des territoires portuaires maghrébins. Cet article propose de combler cette lacune en étudiant le cas de deux territoires industrialo-portuaires qui ont adopté une approche originale et novatrice en matière d'écologie industrielle au Maghreb : le territoire de Jorf Lafsar, au Maroc, et celui de Bejaïa, en Algérie.

Notre étude est conduite en deux temps. Nous montrons que l'écologie industrielle fait l'objet d'approches différentes voire opposées dans la littérature entre les tenants d'une vision technico-scientifique et ceux d'une approche plus socio-économique. L'approche en termes d'écologie industrielle et territoriale est de nature à réconcilier ces deux visions en conjuguant dimension technique et sociale de l'écologie industrielle. Au-delà de ce débat théorique, nous montrons que l'écologie industrielle est déjà une réalité dans certains territoires portuaires (1). Plus précisément, nous proposons deux études de cas d'écologie industrielle territoriale au Maghreb en montrant en quoi ces expériences sont riches d'enseignements pour expliquer la localisation des entreprises et le processus de développement des territoires portuaires concernés (2). Nous concluons en faisant des recommandations en faveur d'une diffusion de l'écologie industrielle dans les territoires portuaires du Maghreb.

1. L'écologie industrielle : débats théoriques et réalités pour certains territoires portuaires

Nous évoquons les différentes approches de l'écologie industrielle entre visions technico-scientifique, socio-économique et territoriale (1.1.). Nous rappelons la singularité des espaces portuaires et montrons que l'écologie industrielle peut être un facteur d'avantages comparatifs dans un contexte à la fois mondialisé et très concurrentiel entre places portuaires (1.2.).

1.1. Approches de l'écologie industrielle : de la technique au territoire

L'écologie industrielle vise une dématérialisation de l'économie permettant d'engendrer un découplage des courbes de croissance et de consommation de matières premières, notamment énergétiques (Lifset et Graedel, 2002). S'inspirant du mode de fonctionnement des systèmes biologiques, plusieurs moyens sont mobilisables afin d'atteindre cet objectif : 1/ le bouclage systématique des flux de matières et d'énergie, 2/ la limitation des pertes dissipatives et des substances polluantes, 3/ le recours aux principes de l'économie de fonctionnalité, pour substituer à une économie basée sur la vente de biens, un modèle basé sur la vente de services, 4/ et la décarbonisation de l'économie (Erkman, 2004). Un exemple emblématique de mise en œuvre de l'écologie industrielle est la symbiose industrielle, à savoir la gestion collaborative de ressources physiques générant des bénéfices conjoints pour des entreprises ou des organisations en proximité géographique (Chertow, 2000).

La conception de l'écologie industrielle ne fait pas l'objet d'un consensus dans la littérature. Une vision technico-scientifique, de nature positive et neutre, s'oppose à une vision socio-économique, plus normative, qui revendique un changement de paradigme de développement (Roome et Boons, 2000). L'écologie industrielle et territoriale tente un compromis entre ces deux approches en proposant une démarche à la fois technique et sociale de l'écologie industrielle (Cerceau *et al.* 2013).

La mise en œuvre de l'écologie industrielle a d'abord été cantonnée au seul système industriel dans l'optique d'une transformation du modèle productif caractérisé par un fonctionnement linéaire, demandeur de ressources et générateur de déchets, en un modèle systémique optimisant la gestion des flux. Cette vision théorique de l'écologie industrielle, technique et scientifique, a été défendue par Allenby (1992, 2006). Pour cet auteur, le système industriel doit être considéré comme un écosystème à part entière qui fonctionne de manière similaire à un écosystème biologique. Cette métaphore organiciste s'accompagne, chez l'auteur, d'une confiance dans la coordination marchande par les prix dans le cadre d'une concurrence pure et parfaite. Cette vision, qui porte en elle les tentations d'un retour à l'économie comme fait « naturel » (Maillefert, 2009), s'éloigne des principes fondamentaux du développement durable en ce qu'elle autonomise les aspects techniques par rapport aux aspects humains et sociaux. Elle développe ainsi une « durabilité faible », au sens de la définition du développement durable établie par la Commission Brundtland (Brulot, 2009 ; Hess, 2010).

Par la suite, la réflexion a dépassé le seul aspect de l'étude des flux de matières et d'énergie du système pour prendre en compte les notions d'organisation humaine et sociale du système considéré. Cette vision normative et sociale a été développée entre autres par Ehrenfeld (2004). Cet auteur ne se satisfait pas du « paradigme social dominant » qui repose sur une conception productiviste et consumériste de l'économie, celle-ci étant régulée par le marché. L'auteur préconise de changer de paradigme et suggère que l'écologie industrielle soit une « reconstruction de la relation fondamentale entre l'homme et la nature » (Ehrenfeld, 2004). Ce changement nécessite à la fois une intervention humaine et de nouveaux modes de coordination qui ne reposent pas uniquement sur le marché. Les imperfections de celui-ci et une concurrence imparfaite nécessitent, selon l'auteur, des modes de coordination non marchands des acteurs impliqués. Si Ehrenfeld partage avec Allenby l'analogie entre écosystèmes biologiques et écosystèmes industriels, il insiste sur les aspects structurel et organisationnel de ces derniers. Sa vision s'apparente alors à une « durabilité forte ».

Des initiatives récentes, menées dans des bassins anthropisés variés, ont permis une appropriation davantage territoriale de l'écologie industrielle, englobant à la fois des composantes industrielles du territoire mais aussi urbaines (Barles, 2010 ; Meijer *et al.*, 2011) et dans certains cas agricoles (Illsley *et al.*, 2007 ; Cao *et al.*, 2011). Les démarches d'écologie industrielle apparaissent alors comme un processus de développement territorial (Dain, 2010 ; Beaurain et Brulot, 2011) qui réconcilie la démarche positive et neutre d'Allenby (1992) à celle plus normative d'Ehrenfeld (2000) en faveur d'un nouveau paradigme du développement.

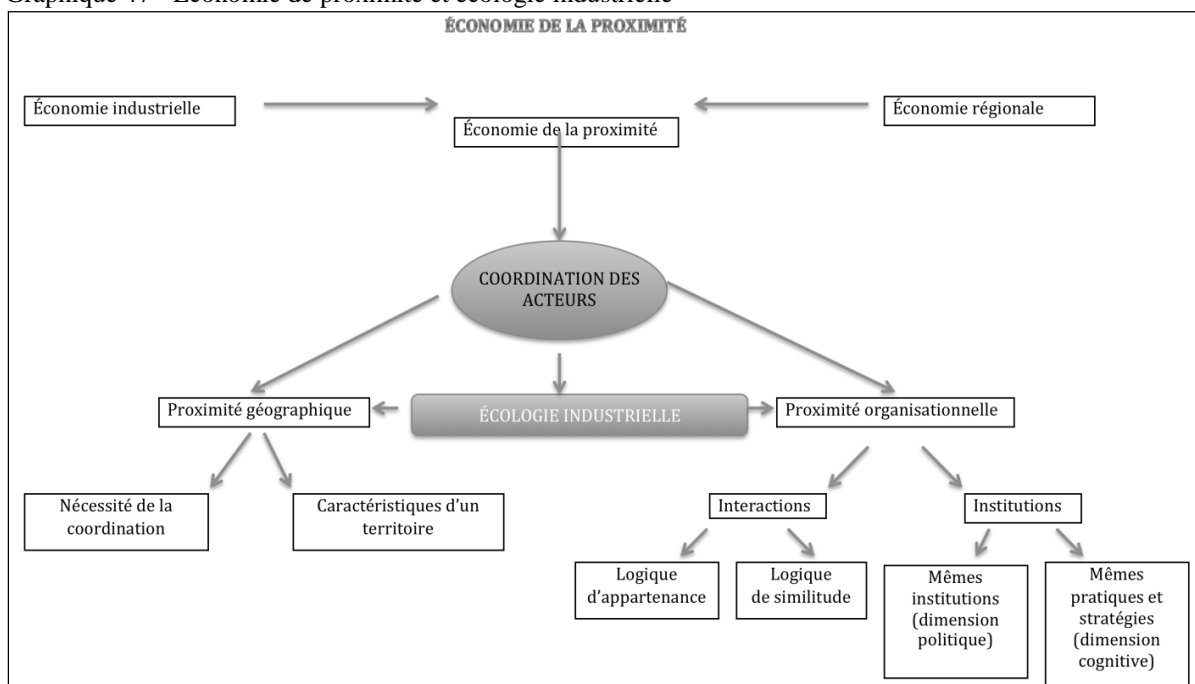
Les démarches d'écologie industrielle ont nécessairement une dimension territoriale et leurs enseignements peuvent contribuer à apporter des réponses aux questions que pose la théorie de la proximité (Beaurain et Brulot, 2011). Cette théorie, qui se trouve à la confluence de l'économie industrielle et de l'économie spatiale, s'intéresse à la coordination marchande et non marchande des acteurs (entreprises publiques ou privées, institutions, collectivités territoriales) en vue de résoudre, par une action collective, un problème productif. La théorie de la proximité est confrontée à deux grands questionnements (Bouba-Olga *et al.*, 2008). Le premier porte sur la localisation des agents économiques. L'écologie industrielle, en tant que forme de coordination des acteurs, peut éclairer les raisons pour lesquelles les acteurs vont se localiser les uns près des autres. Le second s'intéresse aux territoires. L'écologie industrielle, en contribuant à la construction « d'actifs spécifiques localisés » (Colletis et Pecqueur, 2005) peut concourir à la recherche des facteurs qui contribuent à l'émergence d'une

« spécification » territoriale et à l'explication de « l'ancrage » territorial des firmes (Colletis et al 1999 ; Zimmermann 2000).

L'écologie industrielle peut également apporter sa contribution au débat théorique sur les différentes formes de proximité. Si la proximité géographique fait consensus, la proximité non-géographique est objet de discussions opposant courants interactionniste et institutionnaliste (Bouba-Olga *et al*, 2008). Pour le premier courant, la proximité relationnelle serait une proximité organisée, définie comme « la capacité qu'offre une organisation de faire interagir ses membres » (Torre et Rallet, 2005). Cette proximité déclinerait deux logiques, l'une « d'appartenance », qui rassemble des acteurs entre lesquels se nouent des interactions, l'autre de « similitude », qui regroupe « des acteurs qui se ressemblent, qui possèdent le même espace de référence, partagent les mêmes savoirs » (Torre et Rallet, 2005). Pour le second, la proximité relationnelle serait de nature institutionnelle et organisationnelle. La proximité institutionnelle est définie comme « l'adhésion des agents à un même espace commun de représentations, de règles d'action et de modèles de pensée » (Kirat et Lung, 1995). La proximité organisationnelle s'intéresse au mode de coordination au sein d'une organisation entendue comme « un espace de définitions des pratiques et des stratégies des agents à l'intérieur d'un ensemble de règles portées par les institutions » (Kirat et Lung, 1995).

L'écologie industrielle, en proposant une lecture empirique de la proximité géographique et des modes de proximité relationnelle sur un territoire spécifique, réinterroge la dimension interactionniste et institutionnaliste et contribue à l'approfondissement théorique des formes de proximité (Graphique 1). Une démonstration peut en être faite à partir de l'étude des territoires industrialo-portuaires où se déploient des initiatives originales d'écologie industrielle. C'est ce que nous proposons de faire à partir de deux expériences au Maghreb. Auparavant, nous soulignons que l'écologie industrielle est déjà une réalité pour certains territoires portuaires.

Graphique 47 - Economie de proximité et écologie industrielle



Source : Auteurs d'après Bouba-Olga *et al*. 2008

1.2. L'écologie industrielle, une réalité pour certains territoires portuaires

L'écologie industrielle permet de révéler, sur un territoire, des possibilités d'échanges de flux de matières et d'énergie, de renforcer et d'impulser de nouvelles dynamiques de coopération et de coordination entre acteurs territoriaux. Dans un contexte de raréfaction des ressources et de tension sur le prix de certaines matières premières, notamment énergétiques, les acteurs économiques s'engagent progressivement dans des démarches collaboratives de gestion des ressources et ce, à des échelles territoriales multiples : zones d'activités économiques, agglomérations urbaines, régions, etc. Les territoires, à travers leur projet de développement, intègrent aujourd'hui de plus en plus ces approches innovantes de gestion de leurs ressources. Les territoires portuaires, espaces singuliers et stratégiques peuvent également se saisir de l'écologie industrielle comme d'un vecteur d'opportunités, elles-mêmes génératrices d'une différenciation non négligeable, dans un contexte à la fois mondialisé et très concurrentiel entre places portuaires.

Longtemps, ces espaces portuaires n'ont été appréhendés qu'à travers le seul prisme de l'opportunité économique. Puis, l'aménagement et la gestion de ces zones se sont confrontés à des enjeux directement liés aux activités en présence et à leurs importants rejets gazeux, liquides et solides dans le milieu (maritime et terrestre), accentués bien souvent par la présence de zones urbaines à proximité. La prise en compte de l'environnement est ainsi devenu un modèle de référence cognitif pour l'ensemble des acteurs et une composante à part entière dans la gestion de ces zones industrialo-portuaires.

L'écologie industrielle appliquée au sein des territoires portuaires ouvre ainsi des opportunités d'évolution des pratiques des acteurs, favorisant une gestion optimisée et territoriale des ressources, notamment des déchets (Mat et *al*, 2012). Ces acteurs interagissent les uns par rapport aux autres et partagent des savoirs communs liés à l'activité spécifique des zones industrialo-portuaires. Ces zones constituent des espaces préférentiels pour la mise en œuvre de synergies, eu égard à la grande diversité des flux de matières (matières premières, semi-transformées et résiduelles) et d'énergie en présence. Historiquement, les acteurs des secteurs énergétiques présents dans les zones portuaires se sont très tôt engagés dans des actions d'optimisation, basées sur des évolutions de technologies au sein de leurs procédés de fabrication mais également sur des opérations de coopération avec des acteurs situés à proximité. Des exemples de valorisation de sous-produits, l'utilisation en cascade de vecteurs énergétiques et la mutualisation d'équipements ont ainsi été recensés (Mat et Cerceau, 2012). À titre d'exemples, nous pouvons citer la symbiose portuaire initiée sur les terminaux 1 et 2 du Port d'Osaka au Japon par Osaka Gas Co. qui approvisionne en gaz naturel l'ensemble de la région du Kansai. Certifiée ISO 14 001 depuis plusieurs années, cette entreprise est proactive sur les questions d'innovation, visant à améliorer son bilan énergétique global. Les dirigeants de l'entreprise ont ainsi optimisé leur procédé en interne, en développant notamment des unités de production d'énergie, de liquéfaction de l'air et du CO₂, basées sur les principes « Réduire, Recycler, Réutiliser », qui ont permis de développer des échanges de flux avec des acteurs voisins, expliquant ainsi les raisons pour lesquelles ces acteurs se sont localisés dans cette zone. Depuis 2004, les responsables d'une raffinerie, d'une usine pétrochimique et du terminal de réception du Gaz Naturel Liquéfié (GNL) ont ainsi mis en œuvre des synergies pour une réutilisation des frigories produites lors de la phase de regazéification du GNL. De la même façon, un procédé innovant a été développé pour valoriser les frigories générées par Osaka Gas Co. dans une installation de production d'éthylène, située à proximité du site (Otsuka, 2006).

Les ports peuvent être dotés de réalités territoriales multiples dans l'espace et dans le temps. Si les dynamiques d'évolution des territoires portuaires occidentaux témoignent d'une séparation de la ville et du port sous la pression des conflits environnementaux, spatiaux et fonctionnels (Hoyle, 1989), les territoires portuaires orientaux évoluent vers une plus grande intégration du port dans la ville par la création d'un « global hub port city » (Lee *et al*, 2008). Selon le niveau d'intermédiation du système de transport et de la centralité du système d'implantation, Lee *et al* (2008) définissent sur la base des travaux menés par Ducruet (2004), neuf modèles de territoires portuaires, de la ville côtière au hub portuaire. L'écologie industrielle, en tant que démarche territoriale et approche systémique, peut s'inscrire au sein de ces modèles portuaires multiples. Elle peut ainsi contribuer à une nouvelle institutionnalisation de la ville portuaire en développant des synergies à l'interface entre le port et la ville : c'est le cas, par exemple, pour le Port de Bristol où la démarche d'écologie industrielle a permis de mettre en place des collaborations entre les acteurs d'entreprises portuaires et ceux du Bristol City Council pour l'optimisation de la gestion des produits fermentescibles (Royston, 2009). Elle peut renouveler les liens entre les acteurs situés dans des clusters industriels de vastes zones industrialo-portuaires : par exemple, les responsables du Port de Rotterdam participent activement à la mise en œuvre d'une infrastructure et d'une gouvernance permettant la création d'un réseau de collecte et de stockage de CO₂. Le projet s'inscrit dans une dynamique de travail en réseau, en coordonnant l'intégration des unités de capture de CO₂ au sein du procédé même des entreprises (GDF-SUEZ, Air Liquide, Shell, Exxon Mobil...) interconnectées par un vaste réseau de *pipelines* (R3CP) et d'équipements de stockage (TAQA). Au-delà du stockage, des pistes de valorisation du flux de CO₂ sont également considérées, allant de la réutilisation au sein des industries à l'utilisation en serres horticoles (Port de Rotterdam, 2011). Enfin, l'écologie industrielle peut tout aussi bien donner une réalité nouvelle à la notion de réseau portuaire (Van Klink, 1998), en développant des systèmes d'échanges entre places portuaires comme c'est le cas notamment entre les ports de Terneuzen et Ghent aux Pays-Bas (Zeeland Seaports, 2011).

Mais la réalité des espaces industrialo-portuaires est aussi celle des entreprises installées dans ces territoires. Au sein de ces organisations, où se définissent des pratiques et des stratégies d'acteurs, l'enjeu est de comprendre quel est l'intérêt pour ces acteurs d'adopter une démarche d'écologie industrielle ? Si l'on considère que l'écologie industrielle relève d'une démarche systémique, les apports de la théorie de la contingence peuvent apporter des éléments de réponse à cette question. Dans le cadre de cette théorie, Lauwence et Lorsch (1969) proposent de développer les notions de différenciation et d'intégration.

La différenciation est appréhendée à travers la notion de fonction : elle détermine le rôle des acteurs et renvoie aux degrés de hiérarchie des divisions de l'organisation, à la nature des objectifs et aux relations à l'intérieur des divisions. L'écologie industrielle permet la différenciation dans la mesure où chaque acteur industrialo-portuaire a une position et un rôle spécifique dans la circulation des flux de matières et d'énergie. Elle rend chacun de ces acteurs indispensable au bon fonctionnement de la symbiose industrielle. Les aspects techniques et scientifiques de la démarche permettent ensuite de préciser les modes de relation entre les différentes parties de l'organisation (métabolisme).

L'intégration, au sein de l'organisation, concerne la qualité de la collaboration entre les divisions dont l'objectif doit être d'unir leurs efforts pour satisfaire aux demandes de l'environnement. L'écologie industrielle permet un processus d'intégration au sens où les objectifs sont partagés : améliorer les performances dans une démarche écologique. Les motivations ainsi exprimées convergent et constituent la raison d'être de l'organisation

circulaire ou symbiose industrielle. On rejoint l'approche fonctionnaliste (Taylor 1923, Fayol 1918, Weber 1947) de la théorie des organisations selon laquelle des buts communs justifient l'existence de l'organisation. Il n'est alors pas question d'envisager des conflits d'intérêts ou des comportements opportunistes, l'approche se situe dans un cadre rationnel. Les objectifs de la coalition dominante (protéger l'environnement) prévalent et s'imposent.

Le système ainsi mis en place dans la démarche de l'écologie industrielle est un système ouvert. Cela signifie que l'organisation et les divers éléments de son environnement sont engagés dans un processus d'échanges à caractère cyclique (Katz et Kahn, 1966). Ces échanges sont essentiels pour assurer la viabilité du système et sa capacité à se reproduire et à se transformer. L'ouverture du système sur son environnement implique que les acteurs de l'organisation soient confrontés à des incertitudes et des contraintes qui les obligent à évoluer et à s'adapter de façon permanente. L'émergence de la démarche d'écologie industrielle peut être une réponse à ces contraintes de l'environnement : le caractère épuisable des ressources, l'obligation de suivre les consignes formulées par les institutions internationales en termes de protection de l'environnement, l'incapacité des autorités publiques à résoudre seules tous les problèmes, etc. Ainsi, l'organisation en symbiose industrielle offre au système productif local de nouvelles opportunités de coopération sur une base davantage multi-acteurs et une appréhension élargie des enjeux du territoire (conflits d'usages sur les ressources, acceptabilité sociale des entreprises, etc.).

Si la logique sous-jacente à la structure circulaire est universelle, son fonctionnement et son efficacité seront différents selon les territoires d'implantation, qui sont autant d'environnements influant positivement ou négativement la dynamique. C'est à travers deux études de cas, Jorf Lasfar et Béjaïa, que sont décrits les ressorts et enjeux d'une démarche d'écologie industrielle à l'œuvre dans des territoires industrialo-portuaires d'Afrique du Nord.

2. Ecologie industrielle et ports maghrébins, les cas de Jorf Lasfar (Maroc) et Bejaïa (Algérie)

Les territoires portuaires africains sont confrontés à des problématiques fortes de gestion des pollutions locales, à terre (déchets sauvages) et en mer (déchets solides flottants et effluents). Les ports du Maghreb ne font pas exception à ce constat. À ces enjeux environnementaux d'importance s'ajoutent de nouveaux enjeux sociaux et économiques, révélés lors des événements de 2011 (le « Printemps arabe »), qui ont mis en exergue les revendications d'auto-détermination des populations (dimension démocratique et représentative), de bien-être (qualité de l'environnement et du cadre de vie) et de pouvoir disposer d'emplois locaux, à travers une plus grande contribution des grandes entreprises d'Etat au développement économique local (Ben Abdelkader et Labaronne, 2013). Bien que ces tensions sociales et politiques internes aient pu impacter sensiblement les conditions de stabilité et de pérennité des activités économiques, elles ont également permis de pousser les grands acteurs économiques, notamment ceux situés sur des territoires portuaires à s'engager davantage pour un ancrage territorial de leurs activités, au sens d'une meilleure prise en compte de leur environnement naturel (gestion des ressources et des pollutions) et humain (compétences locales).

D'un point de vue géostratégique, les dynamiques nord-africaines sur les enjeux de développement durable sont fortement influencées par celles impulsées en Europe. Au sein des territoires portuaires, ce constat est encore plus prégnant, ces territoires, ainsi que les activités qui y sont implantées, étant souvent directement reliés commercialement aux

territoires portuaires sud-européens. Preuve en est que la majeure partie des trafics des ports du Maghreb, notamment les flux de vracs liquides et solides d'une vingtaine de villes portuaires, est en effet extrarégionale (94%) et polarisée vers la façade Sud de l'Europe (Marseille, Barcelone, Valence, Gênes, etc.) (Ducruet et Mohamed-Chérif, 2013). Dans ces conditions, dès que les normes et politiques de développement durable se renforcent dans l'espace européen, un effet d'entraînement appelle un changement dans les pratiques locales observées dans les territoires portuaires maghrébins partenaires. La politique environnementale des grands groupes économiques, pétrochimiques et autres, tend à se déployer également tout au long de la chaîne de valeur reliée à leurs activités, et notamment auprès de leurs sous-traitants et approvisionneurs, ce qui peut entraîner de nouvelles contraintes et pratiques pour ces acteurs (meilleure gestion des flux et des déchets, des conditions de production et de convoyage plus sécurisés, etc.).

Dans ce contexte, nous montrons les enjeux de l'écologie industrielle en Afrique du Nord à partir de l'étude de deux cas dont nous présentons brièvement les caractéristiques. Ces études portent sur le port de Jorf Lasfar au Maroc (2.1.) et sur celui de Bejaïa en Algérie (2.2.). Les cas d'études présentés dans ce chapitre résultent de travaux menés à la fois dans le cadre de campagnes d'études sur les pratiques de responsabilité sociale des entreprises au sein d'entreprises publiques au Maghreb (Gana-Oueslati et Labaronne, 2011 ; Donsimoni et Labaronne, 2013) et de retours d'expériences de pratiques d'écologie industrielle dans des places portuaires à une échelle internationale (Mat et Cerceau, 2012). Ont ainsi été étudiées et documentées des symbioses industrielles portées par des industries majeures au sein de ces deux territoires portuaires maghrébins :

- *L'Office Chérifien des Phosphates (OCP)*, principal acteur industriel du territoire portuaire de Jorf Lasfar au Maroc, a ainsi mis en place toute une série de collaborations avec des acteurs locaux (acteurs industriels, villes voisines, etc.) afin d'optimiser au maximum ses consommations en eau et en énergie et mieux intégrer son activité dans le contexte local ;
- *L'Etablissement Portuaire de Bejaïa (EPB)*, en Algérie, a quant à lui initié en interne une politique de développement durable, articulée autour d'une dynamique de certification (système de management environnemental et politique de RSE), en vue de renforcer ses coopérations avec ses partenaires à une échelle euro-méditerranéenne (projet MEDA MoS associant le Port de Béjaïa et les villes portuaires de Marseille et Barcelone) et à une échelle locale (collectivité, acteurs industriels).

2.1. Port de Jorf Lasfar (Maroc) : d'une approche « site » à une approche « territoire »

Nous rappelons, tout d'abord, que le phosphate exploité par l'OCP est une richesse minérale de premier plan pour l'économie marocaine (2.2.1). Puis, nous évoquons les synergies que développe l'OCP en montrant qu'elles vont au-delà du complexe industrialo-portuaire (2.2.2). Nous présentons ensuite le métabolisme territorial de l'OCP (2.2.3). Enfin, nous examinons l'hypothèse d'une économie de fonctionnalité appliquée au cas de la production d'engrais (2.2.4).

2.1.1. Le Phosphate, richesse minérale marocaine

Le Maroc dispose d'une richesse minérale particulière, les phosphates, dont le pays détiendrait environ 50 % des réserves mondiales, réparties principalement dans les bassins

miniers de Khouribga et de Gantour. Le pays est le 1^{er} exportateur et le 3^{ème} producteur de phosphates bruts à l'échelle mondiale. Ce phosphate est exploité par une société anonyme, l'Office Chérifien des Phosphates (OCP SA) dont le capital social est détenu à près de 95 % par l'Etat marocain. L'OCP est le premier exportateur mondial de phosphate sous toutes ses formes (minerai, acide phosphorique et engrais). C'est la première société marocaine par son chiffre d'affaires (7 milliards de dollars en 2011). Elle est présente sur les cinq continents.

Depuis quelques années, sous l'impulsion d'une nouvelle équipe managériale, et dans un contexte de demande croissante en fertilisants à l'échelle mondiale, l'OCP augmente et diversifie progressivement sa production de produits fertilisants. Une part croissante du phosphate brut est désormais dirigée vers le complexe industriel de Jorf Lasfar, situé en bordure atlantique à une centaine de kilomètres au sud de Casablanca. Le port de Jorf Lasfar a bénéficié d'importants travaux d'extension, qui seront achevés au deuxième semestre 2015, pour lui permettre d'accueillir, à l'horizon 2020, les trafics d'import et d'export de l'OCP, liés au programme de doublement de l'extraction de minerai et au triplement de la production d'engrais. L'OCP envisage de développer un hub chimique de premier plan au niveau mondial sur son site industrialo-portuaire de Jorf Lasfar (situé à environ 200 km des sites d'extraction). C'est en effet sur ce site que le groupe réalise aujourd'hui la majorité de ses activités de production d'engrais phosphatés et d'acide phosphorique, destinés au marché mondial, via sa propre capacité de production et ses partenariats sous forme de joint-ventures avec des pays en forte demande d'engrais (Brésil, Inde, Pakistan, pays européens, etc.). Pour optimiser l'acheminement du minerai brut, aujourd'hui réalisé par voie ferrée, depuis les sites d'extraction jusqu'au site de transformation chimique de Jorf Lasfar, l'OCP a construit un "minéroduct" de près de 200 km de long (conduite de type pipeline, d'un mètre de diamètre environ). Il entend ainsi augmenter sensiblement sa capacité globale de production de minerais, pour passer à terme de 30 à 50 millions de tonnes par an. Cette montée en puissance impose l'ouverture de nouvelles mines dans l'arrière pays et la construction de nouvelles unités de production sur le site de Jorf Lasfar, qui permettront à la production d'atteindre 9 millions de tonnes de produits fertilisants d'ici à 2020. Cette ambition s'accompagne nécessairement d'une nouvelle politique commerciale, s'appuyant sur des partenariats forts avec des acteurs étrangers du secteur de la chimie et des engrais (ex : prise de participation dans un complexe industrialo-portuaire brésilien géré par l'industriel Yara, montage de joint-ventures stratégiques et opérationnels sur Jorf Lasfar avec des acteurs turcs, pakistanais, indiens afin d'atteindre de nouveaux marchés fortement consommateurs de produits fertilisants, etc.).

Pendant longtemps, l'OCP est resté relativement discret sur ses activités et ses partenariats et ne prenait que partiellement en compte l'ancrage local de son activité sur les territoires concernés (sites d'extraction, sites de transformation et d'exportation), bien que ceux-ci soient concrètement impactés par les externalités négatives de ses activités (rejets polluants dans les sols et l'air, risques chimiques des unités, nuisances sonores et émissions de poussières, etc.). Depuis 5 ans, le statut de l'OCP a évolué vers celui d'une société anonyme, à participation publique majoritaire, ce qui impose désormais une transparence sur son activité et ses impacts. Malgré les externalités négatives citées précédemment, l'entreprise est un vrai moteur de l'économie nationale et locale, sur les territoires concernés, employant à l'heure actuelle près de 20 000 personnes. Le Maroc a également été confronté aux événements de 2011 (« Printemps arabe ») et aux enjeux que ces mouvements populaires soulevaient. Des revendications dans les régions d'extraction minière du phosphate ont imposé un renouvellement des pratiques d'intégration et de recrutement de la part de l'OCP, principal opérateur économique de ces zones et contributeur financier majeur en termes

d'aménagement (écoles, équipements et établissements médicaux, etc.). Le groupe s'est donc engagé à intégrer rapidement, en liaison avec son développement industriel, plus de 5 000 travailleurs marocains supplémentaires et à développer une véritable offre de formation en interne (15 000 jeunes concernés). L'OCP a également projeté la reconversion d'anciens sites miniers pour développer une mine verte et une ville écologique.

S'agissant des enjeux environnementaux, l'OCP est confronté à trois principales problématiques : 1/ la gestion de l'eau (prélèvement sur les nappes phréatiques et les barrages, nécessaire pour ses activités d'extraction et de lavage du minerai), 2/ la gestion de l'énergie (consommation d'énergie sur son site industrialo-portuaire) et les émissions de CO₂ engendrées par les activités de transformation et de transport des minerais, 3/ la gestion globale des ressources (finitude des ressources de phosphates, aisément exploitables, et espaces fonciers nécessaires en surface pour l'extraction).

2.1.2. Des synergies au-delà du complexe industrialo-portuaire

Bien que situé dans un espace littoral à vocation industrialo-portuaire, le site de Jorf Lasfar est malgré tout restrictif, au point de vue géographique, pour appréhender pleinement l'ensemble des actions s'apparentant à de l'écologie industrielle menées par l'OCP. Ce cas d'étude est en effet intimement lié aux activités de l'OCP, allant du métier historique (l'extraction) jusqu'aux derniers développements (la transformation des engrais et la production d'engrais phosphatés et d'acide phosphorique).

Par la nature des synergies identifiées (échanges de flux et d'utilités, mutualisation de services et de personnels, etc.), le périmètre d'étude sur ce cas est donc composé à la fois du territoire industrialo-portuaire de Jorf Lasfar et des sites miniers actifs dans l'extraction de phosphates, principalement celui de Khouribga. Dans ces deux espaces distincts, bien que prochainement reliés par le « minéroduct », l'OCP s'avère être le principal instigateur des synergies et actions coopératives en place, voire le principal financeur. Les autres parties prenantes (collectivités d'ancrage, Agence Nationale des Ports, sous-traitants, etc.) adoptent plutôt dans une posture de suivi de cette dynamique insufflée par cet opérateur économique de première importance.

2.1.3. Métabolisme territorial de l'OCP

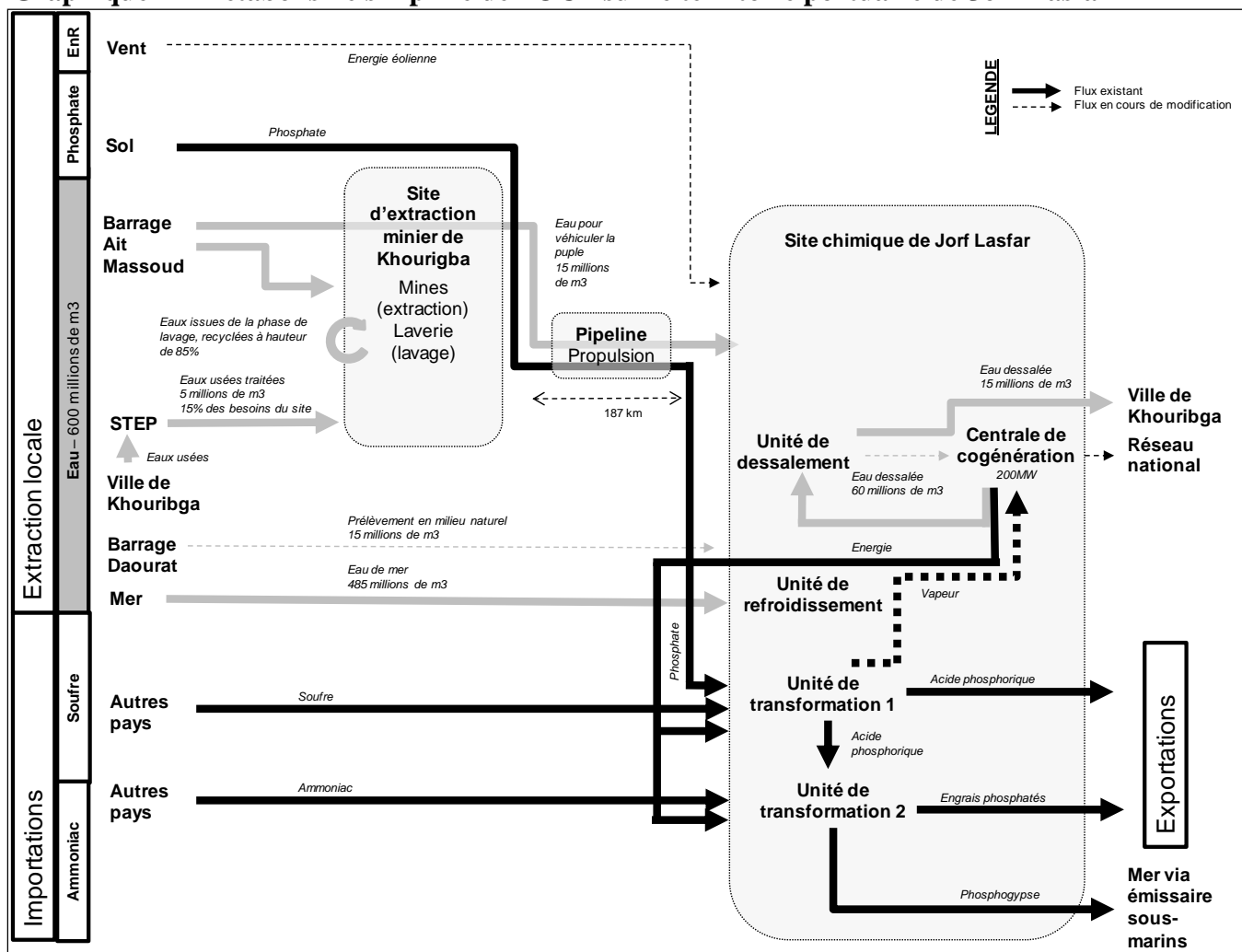
Pour atteindre ses objectifs de production et de prise en compte des enjeux environnementaux, l'OCP envisage de s'appuyer sur un nouveau modèle de développement visant à mieux gérer les flux de matières et d'énergie utilisés sur ses sites d'extraction et de production, dans une logique d'optimisation des coûts, de limitation des pollutions et de meilleur ancrage local de ses activités. L'OCP a donc développé une démarche ambitieuse de management environnemental au sein de son organisation, dont les actions bénéficient à la fois à l'OCP mais également aux autres parties prenantes locales. Ces actions portent principalement sur les aspects suivants :

- *L'optimisation énergétique* : par l'installation de nouvelles unités de cogénération, qui permettent la valorisation des excédents thermiques issus des réactions chimiques sur le site industrialo-portuaire de Jorf Lasfar, ce dernier tend vers une autosuffisance énergétique, permettant également d'alimenter l'unité de dessalement d'eau de mer, cofinancée par l'OCP à hauteur de 6 milliards de Dirhams (soit environ 550 millions d'euros) qui sert à alimenter en eau son procédé mais également la ville voisine d'El Jadida.

- *L'optimisation de la gestion de l'eau* : les évolutions technologiques et organisationnelles des cycles de lavage sur les principaux sites d'extraction permettent d'atteindre des niveaux de recyclage des eaux de l'ordre de 85%, par une utilisation sur site en circuit quasi-fermé. Cela entraîne une réduction directe des quantités puisées dans les aquifères et les barrages alentour. De plus, l'OCP a intégralement financé une nouvelle installation de traitement des eaux usées de la collectivité de Khouribga (à hauteur de 25 millions d'Euros) et réutilise près de 15 millions de m³/an des eaux traitées, issues de cette STEP pour ses besoins de lavage et de bénéficiation (enrichissement du minerai) sur le site minier.
- *La valorisation des déchets* : dans le contexte du déploiement de sa politique de management environnemental en interne, l'OCP a identifié et caractérisé la plupart des déchets et sous-produits (déchets chimiques, à potentiel énergétique, déchets industriels banals, etc.) issus de ses activités. Cette étape préalable permet d'envisager des filières et modes de traitement adaptés, de façon plus systématique et dans la mesure du possible à une échelle locale.
- *L'optimisation logistique et d'approvisionnement* : l'OCP a initié des politiques d'achats groupés inter-entreprises, des sessions d'expédition commune de produits ainsi que des zones de stockage mutualisées de vrac solides ou liquides sur le port (soufre, ammoniac, etc.). En outre, la mise en service du minéroduct reliant les sites d'extraction au site de Jorf Lasfar permettra à terme une importante économie de coût de fonctionnement (la tonne transportée reviendra à 7 fois moins cher que par le train, mode de transport du minerai actuellement utilisé) et une réduction des émissions de CO₂ estimée à près de 900 000 tonnes équivalent CO₂/an.
- *La mutualisation de ressources humaines* : intervenant avec une grande diversité de sous-traitants sur des activités parfois assez spécifiques en rapport avec ses métiers et son expertise historique, l'OCP est amené à mutualiser, dans certains cas, des éléments de son personnel avec différentes entreprises industrialo-portuaires partenaires, notamment dans le cadre des joint-ventures avec des acteurs industriels étrangers.
- *La gouvernance locale* : depuis quelques années, l'OCP est proactif concernant la structuration élargie de la gouvernance autour de ses projets d'aménagements (sensibilisation et implication des sous-traitants dans des projets de développement et de mise en œuvre de l'écologie industrielle, travail partenarial, via un groupement d'intérêt économique, avec les collectivités locales, l'Agence Nationale des Ports pour l'agrandissement du Port de Jorf Lasfar et le développement d'une Zone Industrialo-Portuaire, etc.).

L'ensemble de ces actions, principalement menées par l'OCP, dynamise les territoires d'extraction minière et le territoire portuaire de Jorf Lasfar, les faisant évoluer vers des espaces de symbioses entre industries mais également entre industries et collectivités (Graphique 2).

Graphique 2 - Métabolisme simplifié de l'OCP sur le territoire portuaire de Jorf Lasfar



Source: Auteurs

2.1.4. Vers une économie de fonctionnalité de la production d'engrais ?

Ces actions concrètes d'optimisation de la gestion des ressources et de renouvellement des dynamiques de coopération locales s'inscrivent pleinement dans certains des principes de l'écologie industrielle (Erkman, 2004), à savoir la recherche d'un bouclage plus systématique des flux de matières et d'énergie et la décarbonisation de l'économie. Cependant, l'OCP pourrait poursuivre ses efforts sur deux autres enjeux : la lutte contre la dissipation de substances polluantes et le recours aux principes de l'économie de fonctionnalité, pour substituer à une économie basée sur la vente de biens, un modèle basé sur la vente de services.

En termes de limitation des dissipations de substances polluantes, l'OCP est confronté à une problématique récurrente dans le secteur de la production d'engrais à partir de phosphates : la production de phosphogypse (sous-produit issu du procédé), qui peut atteindre des quantités non négligeables. Aujourd'hui clapées en mer ou rejetées sous forme d'effluent chargé, ces matières résiduelles devraient à terme être stockées à terre, sur le site de Jorf Lasfar. L'enjeu lié à leur réutilisation, complexe de par leur composition chimique, ouvre la voie à

d'éventuelles collaborations avec des acteurs de la recherche et des industriels, afin d'éviter un stockage stérile et volumineux de ces sous-produits issus du process.

En lien avec son déploiement progressif à l'international via des accords partenariaux, l'OCP pourrait être amené à se positionner progressivement sur de nouveaux enjeux liés à l'utilisation des produits fertilisants en fin de chaîne, par l'utilisateur final. Cette perspective questionnerait la possibilité d'appliquer les principes d'une économie de fonctionnalité (Bourg et Buclet, 2005 ; Buclet, 2005) au sein de l'OCP, pour tendre vers un modèle qui favoriserait la vente d'un service (en l'occurrence ici celle d'un service de fertilisation) à la place ou en complément d'un modèle actuel basé sur la vente de la plus grande quantité possible d'engrais.

2.2. Port de Bejaïa (Algérie) : Le défi de développer une communauté portuaire structurée autour des enjeux de durabilité

Nous montrons, tout d'abord, que le port de Bejaïa est confronté à des enjeux environnementaux forts qui nécessitent une dynamique de coopération portuaire (2.3.1.). Puis, nous présentons les synergies qui se développent au sein de l'espace portuaire industrialo-portuaire (2.3.2) et le métabolisme des deux entreprises leader au sein de cet espace (2.3.3). Enfin, nous plaidons en faveur d'une systématisation des démarches coopératives dans la zone industrialo-portuaire de Bejaïa (2.3.4.).

2.2.1. Le besoin d'une dynamique de coopération portuaire

Le territoire industrialo-portuaire de Bejaïa est situé en bordure de la mer Méditerranée, à 180 km à l'est d'Alger, dans la wilaya de Béjaïa (Petite Kabylie). En 2010, le site industrialo-portuaire de Bejaïa couvrait 29% du marché national de l'activité portuaire (hors hydrocarbures). En 2012, il arrivait en tête devant Alger. Ce port mixte compte un terminal à hydrocarbures et accueille différents navires de commerce (conteneurs, bois, céréales, etc.).

Le territoire portuaire de Bejaïa est confronté à de nombreux enjeux environnementaux, à commencer par une problématique de gestion des déchets de navires et des déchets industriels, notamment organiques, issus des activités d'un des principaux acteurs industriels implantés sur le port : l'entreprise CEVITAL. Leader du secteur agroalimentaire et premier groupe privé algérien, cet acteur industriel de premier plan gère plusieurs unités de raffinage d'huile et de sucre, de production de boissons, de conditionnement, de conserverie, etc. A ces enjeux de pollution engendrée par les activités industrielles, s'ajoute une pollution des eaux par les rejets non traités issus de la collectivité locale ainsi que la nécessité de repenser la logistique portuaire afin de fluidifier le trafic (confronté à d'importantes phases d'engorgement au niveau des différentes entrées portuaires terrestres).

L'Entreprise Portuaire de Bejaïa (EPB) et quelques entreprises locales se sont lancées, à leur propre échelle, dans des actions de réduction des impacts environnementaux, parfois en coopérant avec d'autres acteurs industriels. Le port est également engagé depuis 2007 dans un projet euro-méditerranéen (MEDA MoS) avec les villes portuaires de Marseille et Barcelone, dont le but est de faciliter les échanges entre ports et les encourager dans leur démarche de management environnemental local. L'EPB est perçue comme étant plutôt dans une posture de gestionnaire « classique » de son domaine foncier, à la fois dans une optique de développement/attractivité de son territoire de compétence vis-à-vis d'activités économiques mais également de prévention des risques industriels, incluant le fait d'appréhender en amont

les incidences potentielles des activités industrielles implantées sur l'environnement immédiat (la zone industrialo-portuaire) et alentour (la ville). Cependant, il n'est pas vraiment possible de parler aujourd'hui d'une véritable communauté portuaire, au sens où les entreprises installées sur le port de Bejaia coexistent plus qu'elles n'initient et partagent une dynamique commune. Bien qu'elle soit considérée comme une entreprise phare au niveau de la ville et même à une échelle régionale, l'efficacité de l'action de l'EPB semble encore contrainte par des facteurs de blocages (économique et organisationnel, voire également réglementaire), qui se traduisent concrètement par d'importantes congestions du trafic de poids lourds sur le territoire portuaire, des infrastructures routières insuffisantes, des carences en termes de ramassage des déchets et l'omniprésence de décharges sauvages, l'absence de station de traitement des eaux usées (STEP) locale pour traiter les effluents liquides, etc. L'EPB est ainsi confrontée à un double enjeu paradoxal :

- assurer son rôle d'autorité portuaire et veiller à un meilleur respect des règles de rejets dans l'environnement. Ces règles doivent être observées par les entreprises présentes, malgré les carences et la faiblesse des infrastructures locales de gestion et de traitement des flux de déchets,
 - et pérenniser sa fonction commerciale qui vise à limiter les contraintes locales perçues par de potentiels acteurs extérieurs souhaitant s'implanter sur la Zone Industrialo-Portuaire (ZIP).
- Dans ces conditions et face aux impératifs économiques, l'EPB ne peut se résoudre à arrêter ou trop contraindre une de ces activités industrielles pour les seules raisons de non respect de l'environnement. L'EPB reste donc encore assez tournée sur son périmètre de compétence (ZIP) mais manque encore d'initiative pour insuffler une véritable dynamique de coopération sur le territoire portuaire.

2.2.2. Des synergies au sein même du complexe industrialo-portuaire

Les actions identifiées, pouvant s'inscrire dans les principes de l'écologie industrielle, sont principalement circonscrites à l'échelle de la seule ZIP, gérée et administrée par l'Etablissement Portuaire de Bejaia.

Ces actions concernent des relations industries-industries et dans une moindre mesure à l'heure actuelle des relations Port-industries, bien que l'EPB soit assez pro-active en interne en termes de management environnemental (certification ISO 14001, etc.). Le périmètre d'étude est donc plutôt celui de la ZIP, les relations avec le territoire (ville de Bejaia) étant encore peu développées sur ces enjeux de durabilité.

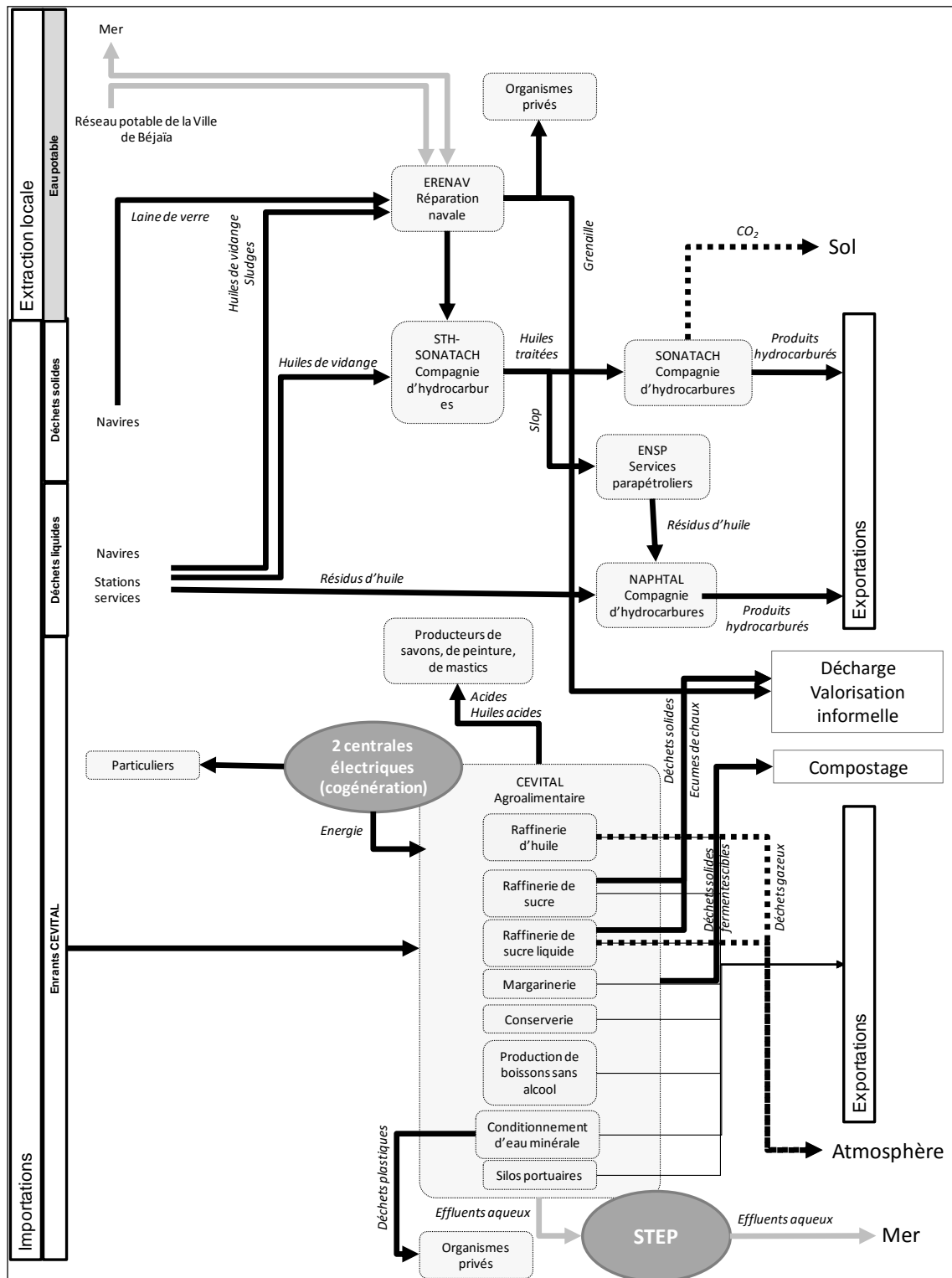
2.2.3. Métabolisme territorial de l'EPB et de Cévital

Malgré le contexte organisationnel flou et face aux enjeux de durabilité qui s'imposent à ce territoire, différentes actions d'écologie industrielle (échanges et valorisation de flux de sous-produits, intermodalité logistique) émergent :

- *L'optimisation de la gestion des déchets sur la ZIP* : la mise en œuvre de la démarche de management environnemental du Port, initiée en 2005 et portée principalement par l'EPB en tant qu'acteur gestionnaire et aménageur de la ZIP, constitue un cadre propice à des évolutions de pratiques en interne sur la gestion des ressources (déchets, eau, énergie, etc.). Cette politique environnementale de l'EPB est en outre supportée et crédibilisée dans le cadre de ses relations extra-portuaires, notamment via les échanges avec ses partenaires commerciaux sud-européens, via des communautés de projet (MEDA MoS cofinancé par la Commission Européenne, etc.). Le Port développe ainsi progressivement les services de

collecte et traitement dédiés et adaptés aux différents déchets (ordures ménagères, déchets de navires, déchets industriels, etc.) générés sur la ZIP. Si les synergies Port-Industries restent encore confidentielles voire inexistantes, hormis les relations classiques d'un gestionnaire à ses amodiataires, les relations de type symbioses entre industriels existent d'ores et déjà à l'échelle de la ZIP : différents acteurs (ERENAV, STH, ENSP et SONATRACH) gèrent le CO₂, les huiles, la naphthaline, la paraffine, la laine de verre et les sludges issus des navires (traités et revalorisés en mélange dans le pétrole par exemple). D'autres acteurs (fabricants de verre ou producteurs de matériaux de construction) récupèrent et revalorisent les déchets locaux de verre (calcin) pour l'injecter dans leur fabrication de carrelage ou de verre recyclé (Graphique 3).

Graphique 3 Métabolisme simplifié de la gestion des déchets portuaires sur le Port de Béjaïa



Source: Auteurs

- *La diversification du bouquet énergétique de CEVITAL* : au sein de CEVITAL, les déchets qualifiés d'huiles acides ou d'acides sont récupérés et recyclés par des producteurs locaux de savons, de peinture ou de mastic. En termes de production décentralisée d'énergie, CEVITAL a lancé la construction de deux centrales de cogénération (50 MW cumulés de

puissance installée) pour alimenter en électricité son complexe agro-alimentaire et fournir un complément au réseau national. Cette diversification d'activité dans la production d'énergie se caractérise également dans des projets de centrales électriques solaires et la production de verres utilisés par ces technologies.

2.2.4. Vers une systématisation de ces démarches coopératives ?

L'écologie industrielle semblerait donc être un bon moyen de systématiser ces premières démarches coopératives entre entreprises locales, mais également en lien avec l'EPB, ce qui favoriserait la mise en œuvre de sa propre démarche de management environnemental. Plusieurs actions complémentaires (échanges de flux de matières et d'énergie, achats groupés, mutualisation de services et d'équipements, etc.) pourraient être envisagées à terme sur la ZIP mais également en lien avec le territoire urbain de proximité. Cela renforcerait l'atteinte des objectifs de durabilité poursuivis par l'EPB, à savoir économiques (rationalisation des processus, optimisation des résultats, économies de moyens, meilleure attractivité de la zone portuaire, etc.), sociaux (meilleur ancrage local des activités locales) et environnementaux (gestion et prévention des pollutions).

La gestion des eaux usées industrielles reste un véritable enjeu sur le territoire portuaire de Bejaïa, très peu d'industries étant à l'heure actuelle dotées ou raccordées à une STEP opérationnelle. Seules les grandes entreprises telles qu'Alfaditex Remila et CEVITAL disposent de stations d'épuration performantes. La STEP de CEVITAL pourrait ainsi être en mesure, à terme, d'alimenter en eau retraitée la société ERENAV qui consomme de grandes quantités d'eau de ville pour ses activités de nettoyage de coques de navires, cette eau étant actuellement fournie par l'EPB.

En lien avec son activité agro-alimentaire, CEVITAL gère de grandes quantités de déchets organiques (mélasse, etc.). Les unités de raffinage du sucre rejettent également des émissions gazeuses (lors du procédé de carbo-filtration). Certains déchets comme les écumes (déchets de chaux) pourraient être revalorisés en fertilisants au niveau des territoires agricoles situés à proximité de Bejaïa.

Conclusion : Pour une diffusion de l'écologie industrielle dans les territoires portuaires du Maghreb

Dans ce travail, nous avons montré que l'écologie industrielle faisait l'objet d'approches théoriques divergentes. Envisagée sous un angle technico-scientifique, se réclamant d'une démarche positive et neutre, l'écologie industrielle peut se cantonner à certains aspects techniques et quantitatifs de la mise en œuvre d'échanges de flux de matières et d'énergie. Sous-tendue par un «déterminisme technologique» et un «libéralisme traditionnel» (Opoku et Keitsch, 2006), cette conception de l'écologie industrielle voit dans le progrès technique et la coordination marchande les justifications des échanges de matières et d'énergie. Abordée ensuite sous un angle socio-économique, se voulant plus normatif et transdisciplinaire, l'écologie industrielle dépasse le seul aspect de l'étude des flux de matières et d'énergie du système pour prendre en compte les notions d'organisation humaine et sociale du système considéré. Cette conception considère le système productif comme un système ouvert, en interaction complexe avec l'ensemble des composantes d'une société. Elle plaide en faveur d'un nouveau paradigme de développement qui ne repose pas uniquement sur la coordination marchande. Étudiée aujourd'hui sous l'angle territorial, dans une démarche à la fois technico-scientifique et socio-économique, l'écologie industrielle et territoriale tente de réconcilier les

deux visions précédentes. Cette approche, à la fois théorique et empirique, génétique et téléologique, permet d'apporter des réponses singulières aux questions posées par la théorie de la proximité.

C'est ce que nous avons tenté de montrer à partir de l'étude de deux cas d'écologie industrielle dans des territoires industrialo-portuaires au Maghreb. Ces études, dans cette aire géographique, nous ont permis de faire au moins deux constats majeurs et nous incitent à réfléchir sur les bonnes pratiques d'écologie industrielle à partir de l'imbrication sociale des acteurs liés par une proximité relationnelle (Ashton, 2008 ; Boons et Howard-Grenville, 2009).

Le premier constat repose sur le fait que les symbioses industrielles recensées sur les territoires portuaires maghrébins émergent de décisions portées par des acteurs privés ou publics (l'OCP et l'EPB étant des entreprises publiques) amenés à échanger des flux dans une optique de réduction des coûts. En l'état actuel du développement des économies maghrébines, il n'y a pas à proprement parler de conscience quant à la mise en œuvre de l'écologie industrielle et quant à l'inclusion des parties prenantes dans un écosystème industriel. Ces initiatives relèvent de ce que Chertow (2007) désigne comme un modèle symbiotique auto-organisé, un modèle de développement spontané de synergies éco-industrielles qui ont tendance à être plus pérennes que les démarches structurées et planifiées. Au-delà du seul avantage économique, ces dynamiques spontanées, ressortant d'acteurs économiques majeurs sur les territoires portuaires du Maghreb, témoignent d'une recherche forte d'articulation entre la problématique d'optimisation de la gestion des ressources et des déchets (optique technico-scientifique dans le cadre d'un management environnemental) et le besoin ou la nécessité d'un meilleur ancrage territorial des activités (optique socio-économique). Les entreprises jouent donc un rôle majeur sur ces territoires et sont généralement les acteurs moteurs et proactifs sur ces enjeux de durabilité dans un esprit à la fois entrepreneurial et parfois « paternaliste ». Soucieuses d'améliorer initialement l'efficacité de leur procédé, elles relient davantage leur stratégie de RSE aux enjeux de durabilité des territoires sur lesquels elles sont implantées, d'autant plus dans le contexte social et politique résultant des événements de 2011 (« Printemps arabe »).

Le second constat est que les autorités locales et/ou portuaires, au Maroc comme en Algérie, apparaissent plutôt en position secondaire dans les démarches recensées. Les relations entre autorités portuaires, entreprises et collectivités locales restent complexes (enjeux propres et omniprésence du rôle de certaines entreprises, leviers d'action limités des autorités portuaires, etc.). Pour autant, la structuration que nécessite la démarche d'écologie industrielle fait évoluer les relations port-territoire. C'est le cas sur Jorf Lasfar avec la forte volonté d'ancrer les activités de l'OCP dans son territoire de proximité (échanges de flux avec les industriels voisins et la Ville d'El Jedida, par l'approvisionnement mutualisé en eau, création d'emplois locaux, etc.). C'est également le cas sur Bejaïa, à travers l'action de l'autorité portuaire proactive sur sa politique de management environnemental. Elle pourrait finalement influencer sur les pratiques des entreprises de la ZIP et sur les relations avec un territoire urbain confronté à des problématiques fortes de prévention et gestion des pollutions (déchets, eaux, etc.) face auxquelles la seule collectivité semble bien démunie (techniquement et financièrement).

L'écologie industrielle n'en est qu'à ses balbutiements au Maghreb, tant en termes d'appropriation stratégique qu'en termes de mise en œuvre sur les territoires portuaires. Au-delà de la mobilisation des entreprises pilotes, l'enjeu d'une meilleure gestion des ressources et des pollutions devra nécessairement trouver un écho favorable auprès des autres parties

prenantes sur ces territoires (industriels, collectivités à travers leurs élus et leurs techniciens, associations locales). Suite aux évènements sociétaux de 2011, les enjeux de durabilité semblent néanmoins de plus en plus partagés par les différentes parties prenantes locales (Donsimoni et Labaronne, 2013). Ces acteurs locaux pourraient s'appuyer sur les principes de l'écologie industrielle pour mettre en œuvre des politiques de gestion locale, favorable à un développement économique et social, sans oblitérer les enjeux environnementaux importants qui se posent concrètement aujourd'hui au sein de ces communautés d'acteurs portuaires, qui restent à construire et à faire vivre.

Il peut paraître à la fois important mais difficile d'envisager une duplication à l'identique de ces initiatives d'écologie industrielle dans l'ensemble des territoires portuaires maghrébins. Si certains paramètres peuvent faciliter la diffusion de ces bonnes pratiques (capacités locales de recherche et réseau formel et informel de chercheurs par exemple), d'autres peuvent au contraire la freiner (contextes culturels et habitudes de travail en coopération, etc.). Il faut notamment prendre en compte l'« imbrication sociale » (Ashton, 2008 ; Boons et Howard-Grenville, 2009), autrement dit les conditions culturelles, socioéconomiques et structurelles, dans lesquelles s'inscrivent le métabolisme portuaire et l'émergence de dynamiques collaboratives autour de la gestion des ressources. Cette « imbrication sociale » couvre plusieurs dimensions (Ashton et Bain, 2012) qui induisent une « territorialisation » des modes de coordination des acteurs :

- *Une dimension cognitive* qui se caractérise par la capacité des acteurs d'un même territoire à s'accorder sur une même définition des enjeux et des priorités stratégiques de développement,
- *Une dimension culturelle* qui émane d'un partage, par différents groupes d'acteurs, de savoirs et de savoir-faire permettant d'asseoir les objectifs et les actions sur un même socle de connaissances et d'expertises,
- *Une dimension structurelle* qui tisse les relations matérielles, économiques, juridiques, politiques, etc. qu'elles soient formelles ou informelles, entre un réseau d'acteurs et qui définit un mode de gouvernance.

Ces trois dimensions, caractérisant les conditions d'émergence des démarches d'écologie industrielle, sont donc autant de leviers ou de freins à la diffusion et à la réplique de modèles d'écologie industrielle d'un territoire portuaire à un autre. Autrement dit, une convergence des schémas d'imbrication cognitive, culturelle et structurelle facilite, de fait, les rapprochements entre territoires portuaires en termes de gestion collaborative des ressources. C'est pourquoi il apparaît pertinent de diffuser ces expériences d'écologie industrielle entre places portuaires en vue d'une optimisation de la gestion de leurs ressources, et ce à trois niveaux :

- *Au niveau d'une même problématique environnementale*, partagée à l'échelle d'un bassin versant ou transversale à plusieurs pays : les symbioses portuaires marocaines et algériennes portent sur des problématiques environnementales similaires, à savoir la gestion de la ressource en eau (conflits d'usages et raréfaction de la ressource, pollution des eaux portuaires et des aquifères), la gestion des sous-produits des activités industrielles, la consommation d'énergie, avec la double problématique de la dépendance aux énergies fossiles et les émissions de gaz à effet de serre. Le partage d'une même problématique environnementale

peut favoriser les échanges croisés entre territoires portuaires et la diffusion d'innovation managériale et technologique.

- *Au niveau d'un même bassin culturel*, à l'échelle d'un pays ou entre pays du Maghreb : par la mise en œuvre et le déploiement d'une véritable dynamique d'écologie industrielle capitalisant sur les synergies spontanées portées par les industriels, le système de production local ou régional pourrait dans son ensemble s'en ressentir favorablement à terme, via de nouvelles opportunités de coopération sur une base davantage multi-acteurs et une appréhension élargie des enjeux du territoire (conflits d'usages sur les ressources, acceptabilité sociale des entreprises, etc.)
- *Au niveau d'une filière ou d'un secteur d'activité*, à l'échelle d'un pays ou entre pays du bassin méditerranéen : l'entreprise portuaire multinationale pourrait ainsi devenir le support de diffusion d'un modèle d'écologie industrielle au sein de plusieurs territoires portuaires dans lesquels elle est implantée ou avec lequel elle développe des relations commerciales privilégiées (filiale, établissement, partenaires, sous-traitants, etc.). Elle peut favoriser 1/ l'implantation de synergies à l'échelon local en dupliquant cette approche dans d'autres pays ; 2/ la mise en œuvre de synergies à une échelle internationale en développant des échanges de flux entre pays ; 3/ l'utilisation du flux logistique comme support de la transformation d'un flux en vue de sa valorisation et de son échange. Des synergies peuvent ainsi émerger et s'opérer, à la fois avec les partenaires étrangers hors Maghreb mais également entre partenaires nord-africains. Cela pourrait être le cas par exemple pour l'activité de l'OCP, fortement consommatrice et importatrice de catégories d'intrants (soufre, ammoniac, etc.), eux-mêmes produits en quantité au niveau algérien par le secteur pétrochimique. Sous condition d'une évolution des rapports politiques entre ces pays, des opportunités de collaboration intra-Maghreb et/ou euro-méditerranéenne sur le métabolisme des activités d'engrais phosphatés pourraient ainsi apparaître.

Bibliographie

- Allenby B., 1992, *Design for environment : implementing industrial ecology*, Thesis Dissertation, University of New Jersey, New Brunswick, 381 p.
- Allenby, B., 2006, "The ontologies of industrial ecology. Progress in Industrial Ecology", *An International Journal*, vol. 3, n° 1-2, pp.28-40.
- Ashton, W., 2008, "Understanding the Organization of Industrial Ecosystems: A Social Network Approach", *Journal of Industrial Ecology* 12 (1), 34-51.
- Ashton, W. S., and Bain. A.C., 2012, "Assessing the 'Short Mental Distance' in Eco-Industrial Networks". *Journal of Industrial Ecology*, 16 (7), 70-82.
- Barles, S., 2010, "Écologies urbaine, industrielle et territoriale", in Coutard, O., Levy, J. P. (eds.). *Écologies urbaines*. Paris : Economica/Anthropos (collection Villes), 371 p.
- Beaurain, C., Brulot, S., 2011, « L'écologie industrielle comme processus de développement territoriale: une lecture par la proximité », *Revue d'Economie Regionale et Urbaine* 2, 313-340.
- Baas, L., 2000. "Developing an industrial ecosystem in Rotterdam: Learning by... what?" *Journal of Industrial Ecology*. 4 (2), 4-6.
- Ben Abdelkader F., Labaronne D., 2013, *Institutions de gouvernance, confiance et développement. Application aux pays arabes de la méditerranée*, Edition l'Harmattan, collection Mouvements Economiques et Sociaux, à paraître.
- Boehme, S. E., Panero, M.A., Munoz, G.R., Powers, C.W, Valle, S.N., 2009, "Collaborative problem solving using an industrial ecology approach. The New York/New Jersey Harbor economy-wide substance flow case studies." *Journal of Industrial Ecology*. 13 (5), 811-829.

- Boons, F., Howard-Grenville, J., 2009, *The social embeddedness of industrial ecology*, Northampton : Edward Elgar Publishing.
- Bouba-Olga O., Carrincazeaux C., Coris M., 2008, « La proximité, 15 ans déjà ! », Avant propos, *Revue d'Economie Régionale et Urbaine*, vol. 3, pp. 279-287.
- Bourg, D., Buclet, N., 2005, « L'économie de fonctionnalité: changer la consommation dans le sens du développement durable », *Futurible*, n° 313, p.27-37.
- Brulot, S., 2009, *Mise en œuvre de projets territoriaux d'écologie industrielle en France : vers un outil méthodologique d'aide à la décision*. Thèse de doctorat. Université de technologie de Troyes, Troyes, France, 427 p.
- Brulot, S., Payen, A., Harpet, C., 2012, « L'écologie industrielle et territoriale: des représentations à l'action », *Colloque ASDRLF*.
- Buclet N., 2005, « Concevoir une nouvelle relation à la consommation : l'économie de fonctionnalité », *Annales des mines, Responsabilité et Environnement*, vol. 39, p. 57-67.
- Cao, J., Li, M., Shuguo, L., 2011, *Development Strategy Research of Modern Eco-Agriculture on the basis of constructing the Rural Circular Economy-For the Example of Shandong Province*. *Energy Procedia*, 5, 2504–2508.
- Cerceau J., Junqua G., Gonzalez C., Laforest V., Lopez-Ferber, M., 2013, “Quel territoire pour quelle écologie industrielle ? Contributions à la définition du territoire en écologie industrielle”. *Revue Développement Durable et Territoires*, article accepté avec corrections.
- Chertow, M. R., 2000, “Industrial symbiosis. Literature and taxonomy”, *Annual review of Energy and Environment*, 25, 313-337.
- Chertow, M. R., 2007, “Uncovering’ Industrial Symbiosis”, *Journal of Industrial Ecology* 11 (1), 11-30
- Colletis G. et Pecqueur B., 2005, « Révélation de ressources spécifiques et coordination située », in : Talbot D. et Kirat T. (coord), « Proximités et institutions : nouveaux éclairages », *Economie et Institutions*, numéro spécial 6-7.
- Colletis, G., Gilly, J.-P., Leroux, I., Pecqueur, B., Perrat, J., Rychen, F. et Zimmermann, J.-B., 1999, « Construction territoriale et dynamiques productives ». *Revue Sciences de la Société*, n° 48, p. 25-46.
- Dain A., 2010, *Analyse et évaluation de la pérennité des démarches d'écologie industrielle et territoriale*, Mémoire de maîtrise en environnement (université de Sherbrooke) et master en ingénierie et management en environnement et développement durable, université de technologie de Troyes.
- Domenech, T., Davies, M., 2011, “Structure and morphology of industrial symbiosis networks: The case of Kalundborg”. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 10, 79–89.
- Donsimoni M., Labaronne D. 2013, « Responsabilité sociale d'une entreprise publique : une formalisation du jeu des acteurs », *Management International*, à paraître.
- Ducruet, C., 2004, *Port cities: laboratories of globalization*. Unpublished PhD Dissertation in Geography. Université du Havre.
- Ducruet C., 2005, « Structures et dynamiques spatiales des villes portuaires : du local au mondial », *M@ppemonde*, 77, 2005.1 Disponible sur : <http://mappemonde.mgm.fr/num5/articles/art05106.html>.
- Ducruet, C. et Mohamed-Chérif, F., 2013, « Les villes portuaires du Maghreb : spécialisation des trafics et rayonnement maritime, l'exemple des flux énergétiques ». Présentation de travaux (en cours) lors du séminaire « *Villes portuaires et développement durable* » à Tunis, janvier 2013.
- Ehrenfeld, J. R., 2000, “Industrial ecology: paradigm shift or normal science?” *American Behavioral Scientist*, 44 (2), 229-244.
- Ehrenfeld J. R., 2004, “Industrial Ecology: a new field or only a metaphor?”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 12, pp. 825-831.

- Erkman, S., 2004, *Vers une écologie industrielle* (2nd ed) Paris : Edition Charles Léopold Mayer, 256 p..
- Fassio G., Le Mestre P., 2009, « Réalités organisationnelles des places portuaires en France et absence d'une mesure tridimensionnelle, (Coûts – Qualité – Délais) de leur performance », journées d'étude en contrôle de gestion, Nantes, 30 janvier.
- Fayol H., 1918, *Administration industrielle et générale*, Dunod.
- Fleig, A. K., 2000. "Eco-industrial parks, a strategy towards industrial ecology in developing and newly industrialized countries". Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit.
- Frosch R.A., Gallopoulos N.E., 1989, "Strategies for Manufacturing", *Scientific American*, vol. 261, Special Issue "Managing Planet Earth", September, pp. 144-152.
- Gana-Oueslati E., Labaronne D., 2011, « Corporate Social Responsibility, Managerial Entrenchment and Privatization. An Algerian Public Company », *Management International*, Été 2011, vol 15, n° 4, pp 37-47.
- Gibbs, D, Deutz, P., 2005, "Implementing industrial ecology? Planning for eco-industrial parks in the USA", *Geoforum* 36 (2005) 452–464
- Hess, G. 2010, "The Ecosystem: Model or Metaphor?" *Journal of Industrial Ecology* 14, (2) 270–285.
- Hoyle, B.S., 1989, "The port-city interface: trends, problems and examples", *Geoforum*, 20 (4), 429-435.
- Illsley, B., Jackson, T., Lynch, B., 2007, "Addressing Scottish rural fuel poverty through a regional industrial symbiosis strategy for the Scottish forest industries sector", *Geoforum* 38 (1), 21–32.
- Katz D, Kahn R L, 1966, *The social psychology of organizations*. New York: Wiley, 489 p.
- Kirat T., Lung Y., 1995, « Innovation et proximités : le territoire, lieu de déploiement des ressources d'apprentissage », in Lazaric N., Monnier J.M, (coord), *Coordination économique et apprentissage des firmes*, Economica, Paris, pp. 206-227.
- Lawrence P.R. et Lorsch J.W., 1969, *Developping Organizations : diagnosis and action*, Ed. Addison-Wesley.
- Lee, S.W., Dong-Woo, S., Ducruet, C., 2008, "A tale of Asia's world ports: the spatial evolution in global hub port cities", *Geoforum*. 39, 372-385.
- Lifset, R., Graedel, T.E., 2002, "Industrial ecology: goals and definitions", in Ayres, U., and Leslie W. Ayres. *A Handbook of Industrial Ecology*. Northampton : Editions Edward Elgar, 701 pages.
- Maillefert M., 2009, « L'écologie industrielle : une stratégie de développement territorial durable ? », *Ecoflash*, juin, n° 239.
- Mat, N. Cerceau, J. Junqua, G., Duret B. Margaine F. Bahers, J-B, Julien Saint Amand, F., 2012, *DEPART, De la gestion des déchets à l'économie circulaire, étude de l'émergence de nouvelles dynamiques partenariales: Cas pratiques et perspectives dans les territoires portuaires*. ADEME. Final report. Paris.
- Mat, N., Cerceau, J., 2012, *Les ports à l'heure de l'écologie industrielle, panorama des initiatives collaboratives multi-acteurs autour de la gestion des ressources dans les territoires*, Rapport final ADEME.
- Meijer, M., Adriaens, F., van der Linden, O., Schik, W., 2011, "A next step for sustainable urban design in the Netherlands", *Cities*, 28 (6), 536–544
- Opoku H., Keitsch M.M, 2006, « Une approche objective de la durabilité ? Théories des implications scientifiques et politiques de l'écologie industrielle », *Ecologie et politique*, n°32, p. 141-152.
- Otsuka, T., 2006. "Evolution of an LNG Terminal: Senboku Terminal of Osaka Gas. Proceedings". *23rd World Conference*, Amsterdam.

Park H-S., Won J-Y., 2008, "Ulsan Eco-industrial Park, Challenges and Opportunities". *Journal of Industrial Ecology*. 11 (3), 11-13.

Port of Rotterdam 2011, website. [on line] : <http://www.portofrotterdam.com/en/Business/containers/Containerspecial/Documents/brochure/port-vision-2030.html>

Rodrigue J.P., Comtois C., Brian Slack B., 2006, *The Geography of Transport Systems*, Routledge.

Roome, N, Boons, F. 2000, "Industrial Ecology as a Cultural Phenomenon: On Objectivity as a Normative Position." *Journal of Industrial Ecology*. 4, (2) 49–54..

Royston, K., 2009, "Sustainable resource management", GreenPort website. [on line]: <http://www.greenport.com/news101/vessel-build-and-maintenance/initiatives/sustainable-resource-management>

Taylor F W., 1923, *Principles of scientific management*. New York: Harper, 144 p.

Torre, A., Rallet, A., 2005, "Proximity and localization", *Regional Studies*, 39, 1, 47-60.

Van Klink, H.A., 1998, "The port network as a new stage in port development: the case of Rotterdam", *Environment & Planning A*. 30 (1), 143-160.

Weber M., 1947, *Theory of social and economic organization*. New York: Free Press, 436 p.

Zeeland Seaports, 2011. Multi-utility providing. [On line] URL: <http://www.zeelandseaports.com/en/projects/video-multy-utility-providing.htm>

Zimmermann, J.-B., 2000, « De la proximité dans les relations firmes-territoires : nomadisme et ancrage territorial », in Gilly J.-P. et Torre A. (eds.), *Dynamiques de proximité*, L'Harmattan, Paris.

Annexe 3 – Publication

MAT et al., 2014. La gouvernance Port-Ville face aux enjeux d'une société bas-carbone : illustration avec le cas de Marseille-Fos. Capsule professionnelle dans le cadre du Tome 3 : Les Gouvernances ville-port. Collection Les Océanides (2014)

Capsule professionnelle

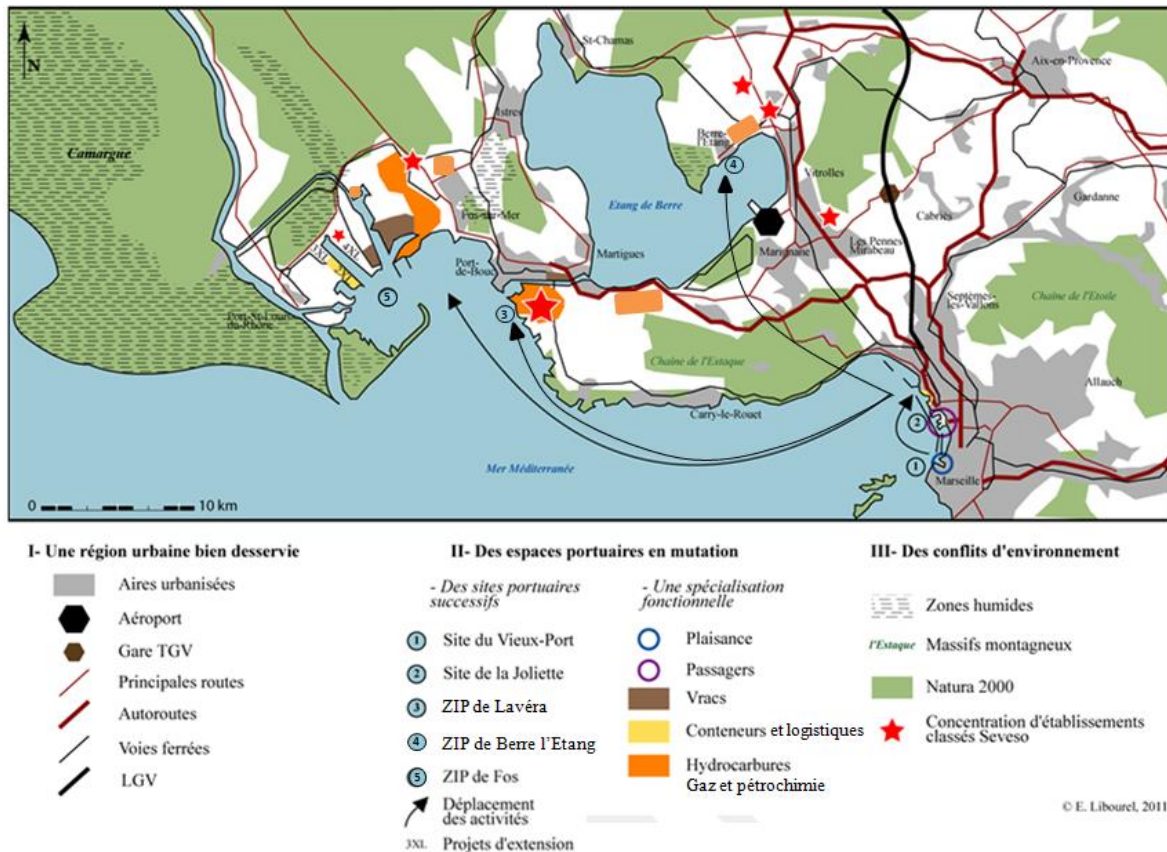
La gouvernance Port-Ville face aux enjeux d'une société bas-carbone : illustration avec le cas de Marseille-Fos

Le Port de Marseille-Fos : un port confronté aux enjeux de la transition énergétique

L'héritage d'une déconnexion port-ville et d'une spécialisation autour des énergies fossiles

Le Port de Marseille reflète l'évolution des espaces portuaires, historiquement ancrés au sein des villes, qui ont progressivement investi de nouveaux espaces pour s'adapter aux besoins et contraintes de nouvelles activités industrielles et maritimes, très consommatrices de foncier et nécessitant un accès direct à la mer. De son site historique fondé en 600 avant J-C dans le Vieux Port de Marseille, l'espace portuaire a été étendu vers le nord, dans la seconde moitié du XIXème siècle, pour désengorger le port historique et permettre aux navires à vapeur d'accoster. Puis, avec l'avènement du pétrole, le port s'est déconnecté de la ville pour développer des complexes industrialo-portuaires vers l'ouest, autour de l'Étang de Berre et à Lavéra à partir de 1920, puis à Fos-sur-Mer dans les années 1960. Cette « conquête de l'Ouest » (Ricard, 1989) est révélatrice d'une tendance progressive de déconnexion avec l'espace urbain jadis mitoyen voire imbriqué avec l'espace portuaire (Hoyle, 1989).

Aujourd'hui, l'espace portuaire de Marseille-Fos se structure donc autour de deux principaux sites, équivalents en nombre d'escales mais très différents en termes d'activités, le long du littoral des Bouches-du-Rhône : les bassins Est, au cœur de Marseille, et les bassins Ouest, situés à près de 60 km du Nord Ouest de Marseille, à Fos-sur-Mer.



Espace portuaire de Marseille-Fos (source : d'après Capellari et Libourel, 2011)

La complémentarité de Fos et Marseille est stratégique, tant pour l'autorité portuaire du Grand Port Maritime que pour les neuf intercommunalités d'ancrage qui sont associées à cet espace portuaire. Fos est identifiée aujourd'hui comme « port à l'échelle mondiale » là où Marseille réaffirme son rôle de « port de la Méditerranée ». En effet, les bassins Est situés à Marseille restent le port dédié aux trafics essentiellement intra-méditerranéens de conteneurs, de fruits et légumes, de vrac agro-alimentaire mais également de passagers. Les bassins Ouest de Lavéra et Fos constituent, quant à eux, une zone industrialo-portuaire d'envergure mondiale, dédiée aux activités lourdes et pétro-chimiques (sidérurgie, raffinage et stockage du pétrole, terminal gazier, chimie, cimenterie, etc.) et logistiques (trafics de conteneurs).

Ce modèle industrialo-portuaire a permis de positionner Marseille-Fos comme nœud stratégique de la gestion des flux énergétiques au Sud de l'Europe : 1^{er} port français, 1^{er} port méditerranéen et 3^{ème} port pétrolier mondial, avec près de 60% de son trafic en tonnage consacré aux hydrocarbures. Ce complexe industrialo-portuaire génère depuis des décennies de l'emploi local et une valeur ajoutée économique forte. Merk et Comtois (2012) estiment à environ 32 400 le nombre d'emplois générés par les activités de transport, de logistique, de construction et réparation navale, d'industries portuaires ou encore de plaisance, présentes sur le port de Marseille-Fos. La valeur ajoutée du cluster de Marseille-Fos est significative pour la région : elle s'élève à près de 4 milliards d'euros, soit environ 3% du PIB régional.

Il n'en demeure pas moins que ce complexe industrialo-portuaire est aussi perçu comme une source non négligeable de nuisances. La qualité de l'eau, des sédiments et de l'air est impactée par l'historique industrialo-portuaire de cet espace géographique. La quantification des émissions de CO₂ est de 8,2 teq CO₂ par habitant sur Marseille Provence Métropole et 109 teq CO₂ par habitant pour le secteur incluant la zone industrialo-portuaire de Fos-sur-Mer (Merk et Comtois, 2012). En valeur absolue, les émissions de CO₂ relatives à la seule zone industrialo-portuaire de Fos sont équivalentes voire supérieures à celles de Marseille Provence Métropole (MPM, 2011).

Les défis de l'interface port-ville et de la transition énergétique post-carbone

Dans un contexte où les besoins d'expansion de la ville et du port étaient concomitants, la spécialisation spatiale des bassins Est et Ouest apparaissait comme une réponse intéressante aux besoins de foncier pour l'accueil et le développement d'industries lourdes, symboles d'une économie basée sur le « tout pétrole » consommatrice de ressources et d'énergie à bas coût. Cette redistribution spatiale des activités industrielles en dehors de la ville a également constitué une réponse à court et moyen terme pour la problématique de gestion des nuisances issues du domaine portuaire (bruit, pollutions atmosphériques, trafics routiers, etc.).

Cependant, cette déconnexion spatiale a aussi contribué à éloigner, à tous les niveaux, la ville et le port. L'absence de gouvernance territoriale concertée durant des décennies peut être considérée comme l'héritage combiné de la volonté du port de se désenclaver de l'emprise urbaine pour mieux développer et maîtriser ses activités et du désinvestissement de la ville pour sa vocation portuaire historique. L'espace portuaire s'est ainsi cloisonné entre plusieurs identités culturelles marquées, tantôt tournées vers la cité à Marseille, vers la pêche à Port Saint Louis et vers l'industrie à Port de Bouc, Martigues et Fos. La juxtaposition de ces identités ne va pas sans soulever des tensions sociales qui s'expriment notamment à l'occasion de nouveaux projets d'extension de la zone industrialo-portuaire où s'opposent les intérêts nationaux et les intérêts locaux (Cerceau, 2013).

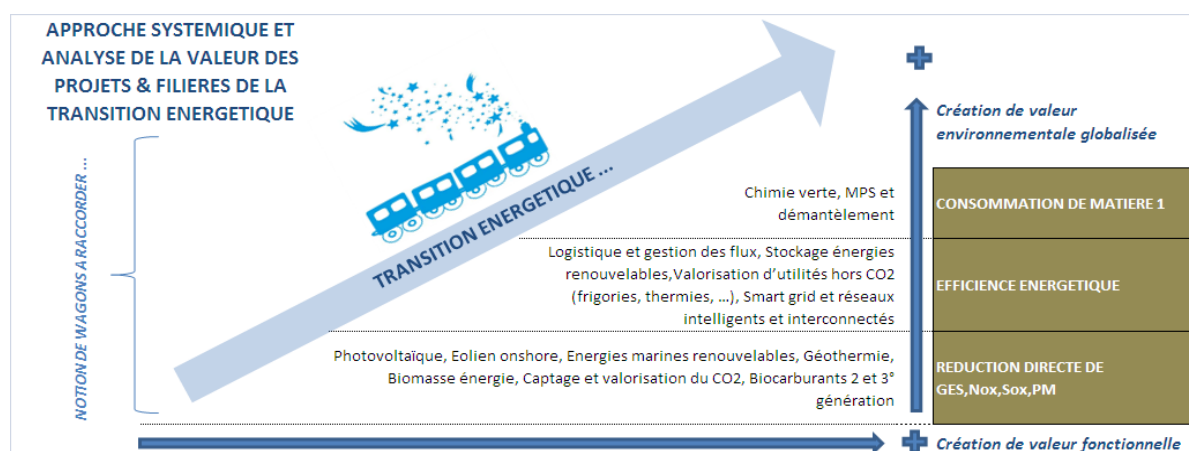
En outre, la spécialisation d'activités sur Marseille-Fos autour de la gestion des flux énergétiques, principalement d'origine fossile (hydrocarbures, charbon, etc.), est devenue une faiblesse dans un contexte de crises conjoncturelles ou structurelles, liées aux évolutions industrielles et énergétiques. Les fermetures et restructurations des grandes industries, notamment pétrochimiques, l'évolution des stratégies énergétiques à l'échelle mondiale induisant une adaptation et une réduction des capacités de raffinage en Europe, etc. sont autant d'indicateurs d'une transition en marche vers une société post-carbone (fossile).

Stratégies d'adaptation et processus de transition

Conscient de sa vulnérabilité dans ce contexte de transition, le complexe industrialo-portuaire de Marseille-Fos s'est donc engagé depuis plusieurs années dans une réflexion stratégique de fond, articulant transition énergétique et renouvellement de l'interface port-ville, *via* :

- une évolution de son modèle d'activités vers un écosystème industriel plus intégré et basé sur une densification des échanges de flux entre acteurs,
- le développement de nouvelles activités et de nouvelles filières dans le sens d'une diversification dans le domaine des énergies pour « passer du port mono-énergie à celui de toutes les énergies » (Terrier, 2013)
- la re-densification de ses liens avec le territoire, notamment les collectivités, pour renouveler la cohérence de son action et son ancrage territorial.

La transition énergétique est ainsi appréhendée par le port non plus comme une contrainte mais bien comme une source d'opportunités pour la mutation de la zone industrialo-portuaire (ZIP) et plus globalement du territoire. Le double objectif est donc de renforcer l'attractivité du port et du territoire et de trouver des relais de croissance et de nouvelles sources de recettes.



La transition énergétique vue par le Grand Port Maritime de Marseille-Fos
(source : Pichon dans Collectif, 2013)

Cette stratégie repose sur trois principaux piliers: 1/ l'efficacité énergétique (optimisation des procédés industriels et logistiques), 2/ la production d'énergies renouvelables (mobilisation des ressources éolienne, solaire, géothermique, de biomasse, etc), 3/ l'écologie industrielle (développement de synergies inter-industrielles, valorisation de sous-produits, etc.).

L'écologie industrielle, un levier pour renouveler la gouvernance territoriale des espaces portuaires

L'écologie industrielle et territoriale a pour objectif d'accompagner la transition des territoires d'un mode de gestion linéaire des flux, caractérisé par une utilisation exponentielle des ressources et une émission considérable de polluants et de déchets, à une gestion circulaire des flux rendue possible par la densification des interactions entre acteurs locaux. Par la mise en œuvre de synergies ou symbioses industrielles, les déchets des uns deviennent des ressources pour les autres (Erkman, 2004). Au-delà des aspects techniques liés à la mise en œuvre de ces échanges de flux de matières et d'énergie (infrastructures d'échanges, pérennité et stabilité des approvisionnements, qualité et quantité des flux, etc.), les enjeux humains et organisationnels (mode de coordination et d'organisation, facteurs de

mobilisation et d'implication, conditions de pérennisation des démarches, etc.) sont au cœur des processus de mise en œuvre de ces démarches d'intelligence territoriale. L'écologie industrielle et territoriale est ainsi comprise comme une action collective territoriale, un processus de coordination d'acteurs en vue d'atteindre un objectif de meilleure gestion des ressources locales (Brulot *et al.*, 2014). La mise en œuvre de l'écologie industrielle nécessite de nouveaux schémas d'organisation industrielle, de gouvernance et de partenariat entre les acteurs économiques situés au sein d'un territoire. En révélant des possibilités d'échanges de flux de matières et d'énergie, elle permet de renforcer et d'impulser de nouvelles dynamiques de coopération et de coordination entre acteurs territoriaux. Les questions de gouvernance, d'implication et de coordination des acteurs en constituent donc un point central : comment adopter des positions communes d'aménagement du territoire ? Comment réapprendre à interagir et converger vers un objectif commun, tout en considérant ses intérêts propres ? Comment valoriser et faire évoluer ses propres fonctions au sein d'un système territorial complexe et mouvant ? Comment gérer des tensions locales fortes autour des impacts environnementaux du Port, des enjeux d'emploi, etc. ?

Les territoires portuaires, espaces stratégiques et porteurs d'enjeux forts (portes nationales d'échanges et de concentration de flux de matières et d'énergie, conflits d'usages des sols, problématique de pollutions, etc.), intègrent de plus en plus cette approche innovante de gestion de leurs ressources et de leurs déchets, y voyant un vecteur d'opportunités et un facteur de différenciation non négligeable, dans un contexte mondial très compétitif (Mat et Cerceau 2012). A l'échelle internationale, de nombreux espaces industrialo-portuaires se sont saisi de ce concept et développent des symbioses sur une grande diversité de flux, et selon de modes opératoires très différents en fonction des acteurs qu'ils associent et du contexte dans lequel ils s'inscrivent (Mat et Cerceau, 2012 ; Cerceau *et al.*, 2014). En France, depuis le milieu des années 2000, on constate une réelle dynamique d'écologie industrielle au sein des grandes places portuaires (Collectif, 2013) : politique globale déclinée à l'échelle de l'Estuaire de la Seine ; groupement d'intérêt économique associant un ensemble industriel autour d'une plateforme de mutualisation de services sur la zone industrialo-portuaire de Salaise/Sablons ; création d'une culture commune d'écologie industrielle à travers des actions de réutilisation des eaux sur le Port de Nantes-Saint-Nazaire ; projet de structuration globale des échanges entre industriels dans une logique de réseaux portuaires sur le Port de Bordeaux, etc. Ces démarches contribuent à renouveler les collaborations entre parties prenantes au sein des territoires portuaires, en s'appuyant sur des formes de gouvernance variées : associations d'industriels dont ECOPAL (Economie et Ecologie partenaires dans l'action locale) sur le Dunkerquois ou le Groupement des Usagers du Port (GUP) sur le territoire de Strasbourg ; association collégiale rassemblant collectivités locales, décideurs économiques et industriels telle que l'association «Ecologie Industrielle Estuaire» ; collaborations ville-port telles que mises en œuvre à Bordeaux ou à Fos-sur-Mer, etc.

Des symbioses industrielles qui contribuent à la résilience du système industrialo-portuaire

L'espace portuaire Marseille-Fos fait pleinement partie de cette dynamique nationale d'écologie industrielle. De nombreuses synergies, notamment énergétiques, existent sur les sites de Fos-sur-Mer, Lavéra et Berre l'Etang. Ces initiatives spontanées portées par les

industriels locaux, dans le cadre de leur implantation ou de leur démarche d'amélioration continue, contribuent à un maillage local des flux, permettant *in fine* une optimisation des consommations d'énergie, une moindre dépendance à certains flux d'approvisionnement extérieurs, une revalorisation plus systématique « des rejets des uns pouvant ainsi devenir des ressources pour les autres ». Une symbiose industrielle existe par exemple depuis 1972 sur le territoire de Fos-sur-Mer, entre le terminal méthanier de Fos Tonkin géré par une filiale de GDF-Suez et le site d'Air Liquide situé à proximité. Cette synergie consiste en un échange de flux de calories, en l'occurrence de frigories issues du processus de regazéification du Gaz Naturel Liquéfié.



Synergies (valorisation de frigories) sur le terminal méthanier de Fos Tonkin entre les entreprises Elengy et Air Liquide (source : Bavuz et Carrese, 2013)

Depuis le milieu des années 2000, le territoire portuaire de Marseille-Fos a engagé une réflexion sur ces enjeux d'évolution et d'adaptation en mobilisant explicitement le concept et les outils de l'écologie industrielle pour l'appliquer à son échelle territoriale. Dès 2004, les travaux initiés par le Grand Port Maritime, en partenariat avec le laboratoire de recherche LGEI de l'Ecole des Mines d'Alès, ont permis de caractériser les principaux flux de matières et d'énergie transitant sur l'espace industrialo-portuaire, de dresser un bilan des technologies clés en présence (*mapping* technologique) et de modéliser les interactions existantes et les pistes potentielles d'échanges de flux entre différents acteurs industriels implantés sur la ZIP.

Aujourd'hui, plusieurs initiatives et réflexions co-existent sur le territoire. Outre les échanges de flux développés à l'intérieur des sites industriels, certaines initiatives sont portées par l'autorité portuaire (le Grand Port Maritime de Marseille-Fos) ou par des associations d'industriels (Environnement & Industrie, UIC PACA) en partenariat avec des chambres

consulaires (CCI de Marseille). D'autres sont animées par des collectivités locales (SAN Ouest Provence), ou encore par des consortiums de recherche nationaux. Ces projets portent désormais à la fois sur des échanges d'utilités thermiques (flux de chaleur ou de froid), d'eaux industrielles (pouvant être utilisées en cascade), des mutualisations d'équipement (traitement d'effluents, de COV, de boues de décarbonation, etc.) mais également sur des filières de revalorisation et de recyclage (CO₂ avec le projet VASCO, laitiers et gaz de haut-fourneaux, etc.) voire de nouvelles filières (éoliens onshore et offshore, déconstruction navale, etc.).



Pilote expérimental de valorisation du CO₂ pur (source : Moine, 2013)

Ainsi, la mise en place de symbioses industrielles intéresse aussi bien les parties prenantes portuaires (autorités portuaires, industries portuaires, etc.) que celles limitrophes de la ZIP (communautés urbaines, etc.), qui peuvent représenter des lieux de consommation de flux considérables (par exemple, les flux de chaleur pour le chauffage urbain ou de froid pour le refroidissement de locaux ou d'entrepôts, etc). Cela nécessite de nouveaux partenariats entre les acteurs industriels, l'autorité portuaire et les collectivités.

Un processus de transition qui implique de nouvelles relations Ville-Port

La reconquête d'une gouvernance territoriale et concertée, à l'interface entre la ville et le port, est palpable au niveau des Bassins Est. Depuis 1995 et la création par l'Etat de l'Etablissement public EuroMéditerranée, les rapports entre la Ville de Marseille et le Port ont sensiblement évolué. Ils ont notamment bénéficié du rayonnement urbain et culturel dans le cadre de Marseille Provence 2013 (Capitale Européenne de la culture), à travers des symboles de la réintégration du port dans la ville comme le Silo d'Arenc, le Mucem, la Villa Méditerranée, etc. La signature récente de la Charte Ville-Port entre les autorités urbaines et portuaires vient conforter ce souhait de développer des synergies entre la Ville et le Port.

Elle formalise la volonté de remettre en valeur la mixité Ville-Port, désormais considérée comme un facteur d'attractivité, et concrétisée à travers des projets emblématiques comme les Terrasses du Port ou le Hangar J1.

A l'instar de cette dynamique de rapprochement entre parties prenantes locales au niveau de Marseille, cette volonté d'une meilleure articulation des fonctions et d'une plus grande « porosité spatiale » (Ricciotti, 2013) est également recherchée aujourd'hui au niveau des Bassins Ouest, bien que la dominante soit plus industrielle que culturelle. Dans le cadre du projet métropolitain Aix-Marseille, autorité portuaire, collectivités locales, CCI et associations d'industriels travaillent à la structuration d'une démarche commune d'écologie industrielle et territoriale en vue d'harmoniser les différentes initiatives en cours et de construire une ambition territoriale partagée en termes de gestion des ressources énergétiques. L'objectif est d'atteindre une plus grande autonomie énergétique du territoire en optimisant, selon une approche systémique, la collecte, le stockage, l'échange et la valorisation de l'ensemble des flux énergétiques présents sur ce vaste territoire, d'une surface de plus de 3 000 km².

Perspectives et pistes pour une ambition territoriale partagée

La mise en œuvre de la Réforme portuaire à partir de 2008 a renouvelé les structures de gouvernance au sein des ports français (Cariou *et al*, 2013). Elle a également eu comme effet de recentrer les missions du Grand Port Maritime sur ses fonctions régaliennes (sécurité, sûreté et police portuaire) et de consacrer son rôle d'aménageur public du domaine portuaire (Cerceau, 2013), dans une optique d'intérêt général au bénéfice du territoire (intégration territoriale accrue) et dans un souci de décloisonnement (Moine et Giraud, 2013). En se dotant d'une vision à court, moyen et long terme, le port souhaite s'afficher comme un véritable facilitateur pour le développement local de filières d'activités générant de la valeur et des emplois. La difficulté actuelle pour l'autorité portuaire de Marseille-Fos est de pleinement s'impliquer dans le développement de nouvelles filières d'activités, qui, si elles ne sont considérées qu'à travers leur seule pertinence économique pour le Port, seront certainement moins « lucratives » que la gestion des flux énergétiques (vracs solides et liquides) pour laquelle les droits perçus par le port sont encore importants. Par ailleurs, proactif sur le sujet des services énergétiques, le port réfléchit également au rôle qu'il pourrait jouer à terme, en tant qu'acteur ou opérateur interface, au sein d'un écosystème industriel-portuaire mature, fondé et opérant selon les principes d'écologie industrielle.

Le contexte de métropolisation (Aix-Marseille Provence Métropole) offre l'opportunité pour le port de prochainement disposer d'un partenaire institutionnel à l'échelle de son territoire (Delsalle, 2013) pour dessiner de nouvelles étapes dans cette transition énergétique territoriale. Un peu plus de la moitié de la consommation d'énergie dans la région PACA est imputable au territoire de cette future métropole (de par le poids de l'industrie dans la consommation énergétique locale), qui n'abrite pourtant qu'un peu plus du tiers de la population régionale (Madar, 2014). Ce contexte de métropolisation constitue un levier pour reconsidérer l'échelle cohérente d'action et de réflexion stratégique pour la concrétisation de nouvelles synergies intersectorielles et le développement économique du territoire, étant donné le faible niveau de production énergétique (moins de 1Mtep/an) localisé sur ce territoire au regard des besoins (plus de 11 Mtep/an).

Les mutations industrielles en cours sur le domaine industrialo-portuaire de Marseille-Fos sont représentatives d'une société en évolution, qui doit aujourd'hui s'adapter aux enjeux du post-carbone. Les territoires portuaires, et celui de Marseille-Fos en particulier en France, ont la particularité d'accompagner les évolutions énergétiques mais également parfois de pré-déterminer ce que seront les modèles productif et consumériste de nos sociétés demain. Si la baisse à terme des trafics pétroliers semble inéluctable, les scénarii d'évolution énergétique projettent en Europe un remplacement progressif du brut pétrolier par le Gaz Naturel Liquéfié (GNL). Si ces projections se confirment, le GNL, parfois qualifié de solution énergétique transitoire, pourrait conforter la place stratégique des terminaux industrialo-portuaires à l'échelle des différents bassins de consommation dans le Monde, tant dans les pays développés, que dans les pays en voie de développement. Le port de Marseille-Fos pourrait ainsi se positionner comme un hub du GNL, l'Europe voulant quadrupler ses capacités de traitement d'ici 2025, les portant à près de 200 Gm³/an (Bavuz, 2013). Pour autant, les pouvoirs publics souhaitent que ce flux énergétique s'inscrive dans un bouquet énergétique diversifié, intégrant une part croissante de sources d'énergies renouvelables. Cet idéal se cherche encore bien souvent une réalité opérationnelle, pour des raisons tant technique (notamment lié à l'intermittence des énergies renouvelables) qu'économique sur les territoires. A Marseille, les décideurs locaux du Port et de la Ville ont saisi cet enjeu et s'en emparent désormais, comme une condition de « survie » et d'indépendance énergétique à terme de leur territoire.

Bibliographie

Bavuz, G. et Carrese, M. 2013. Initiatives de GDF SUEZ en matière d'écologie industrielle. 12èmes Rencontres de Fos.

Bavuz, G. 2013. Extrait d'une allocution dans le cadre d'un colloque professionnel dédié aux 50 prochaines années de la zone industrialo-portuaire de Fos. 25 octobre 2013.

Brulot, S., Payen, A., Harpet, C., 2012, « L'écologie industrielle et territoriale: des représentations à l'action », Colloque ASDRLF.

Brulot, S., Maillefert, M., Joubert, J., 2014. Stratégies d'acteurs et gouvernance des démarches d'écologie industrielle et territorial. *Revue Développement Durable et Territoire*, 5, n°1.

Capellari, B., Libourel, E., 2011. Le glissement du territoire portuaire de Marseille vers Fos-sur-Mer. Disponible en ligne. URL: <http://www.geographie.ens.fr/Glissement-portuaire.html>. Consulté le 25 septembre 2013.

Cariou, P., Dagnet, F. and Fedi, L. (2013). "The new governance structure of French seaports". Paper presented at International Association of Maritime Economists (IAME) Conference, Marseilles, France, 3-5 July 2013.

Cerceau, J., 2013. L'écologie industrielle comme processus de construction territoriale : application aux espaces portuaires. Thèse de doctorat, Ecole des Mines d'Alès.

Cerceau, J., Mat, N., Junqua, G., Lin, L., Laforest, V., Gonzalez, C. Implementing industrial ecology in port cities: international overview of case studies and cross-case analysis. *Journal of Cleaner Production*. In Press, Corrected Proof. Disponible en ligne le 28 mars 2014. (2014).

Collectif, 2013. Les territoires portuaires à l'heure de l'écologie industrielle. Séminaire national, Paris, le 4 avril 2013.

Delsalle, B. 2013. Synthèse du voyage d'étude AIVP à Marseille. 17 et 18 octobre 2013

Erkman, S., 2004, Vers une écologie industrielle (2nd ed) Paris : Edition Charles Léopold Mayer, 256 p.

Hoyle, B.S., 1989. The port-city interface: trends, problems and examples. *Geoforum*, 20 (4), 429-435.

Madar, C. 2014. La stratégie énergétique, nouvelle compétence clé de la métropole. Entretien dans le cadre de la lettre électronique n°4 (mai 2014) éditée par la Mission interministérielle pour le projet métropolitain Aix-Marseille-Provence.

Mat, N., Cerceau, J., 2012, Les ports à l'heure de l'écologie industrielle, panorama des initiatives collaboratives multi-acteurs autour de la gestion des ressources dans les territoires, Rapport final ADEME.

Merk, O., Comtois, C., 2012. Compétitivité des villes portuaires: Le cas de Marseille-Fos. *OECD Regional Development Working Papers*, OECD Publishing.

Moine, H. 2013. Comment passer de l'idée à des réalisations pérennes : méthodes et outils pour une mise en œuvre? Atelier n°2. 12èmes Rencontres de Fos.

Moine, H. et Giraud, J. 2013. Ecologie industrielle et transition énergétique au sein du Grand Port Maritime de Marseille. Voyage d'étude AIVP à Marseille. 17 octobre 2013

Marseille Provence Métropole, 2011. Estimation des émissions de gaz à effet de serre du territoire. Rapport.

Ricard, G.1989. Marseille-sur-fos ou la conquête de l'ouest. Histoire du commerce et de l'industrie de marseille (xixe-xxe siècles). Tome iii. Chambre de commerce et d'industrie de Marseille. 300 pages.

Ricciotti. 2013. Visite et commentaires du Musée des Civilisations de l'Europe et de la Méditerranée (MUCEM). Voyage d'étude AIVP à Marseille. 18 octobre 2013

Terrier, J-C, 2013. Extrait d'une allocution d'ouverture dans le cadre d'un colloque professionnel dédié aux 50 prochaines années de la zone industrialo-portuaire de Fos. 25 octobre 2013.

Annexe complémentaire : Production scientifique et professionnelle

Sur la période 2012-2015 correspondant à la durée de la thèse:

- **17 communications orales** réalisées en France et à l'étranger
- **14 publications** dont 3 articles dans des revues scientifiques internationales à comité de lecture et une co-direction d'un ouvrage collectif
- Plus de **60 heures d'enseignements** assurés depuis 3 ans
- **Montage, organisation et pilotage d'un Workshop national** (structuration d'une communauté nationale d'acteurs portuaires)
- **Collaborations nationales et internationales** dont 2 collaborations scientifiques établies avec des universités en Chine et en Corée du Sud

Conférences et communications orales sans actes

MAT Nicolas, SAUDOIN, M., FERNANDES, V. L'économie circulaire : pour un développement économique durable du port. Conférencier invité aux Assises du Port du futur. Paris, le 1^{er} oct. 2015.

MAT Nicolas. Présentation de la problématique « énergétique » à partir de la Note Stratégique « Economie circulaire et stratégie portuaire », Conférencier invité dans le cadre des Journées Tenerrdis d'innovation(s) dans les ports - Smart Energy Port. Lyon, 17 septembre 2015.

MAT Nicolas, CERCEAU Juliette, JUNQUA Guillaume, MOINE Hervé, DAGNET Frédéric, LOPEZ-FERBER Miguel, « Transformations toward sustainable port cities: dynamics and processes of adaptation in the Marseille area », 11th Biennial Conference of the European Society for Ecological Economics, 1^{er} juillet 2015 – Leeds (Royaume-Uni).

MAT Nicolas, « L'économie circulaire et les territoires portuaires: enjeux, applications et perspectives », Conférencier invité lors du séminaire de clôture du projet européen Interreg IVA FLIP, 27 mai 2015, Bruxelles (Belgique).

MAT Nicolas, « Using industrial ecology for energy transition of Marseilles-Fos's port city », Conférencier invité lors de la « Conference of E-harbours Movement in Amsterdam Metropolitan Area Energy transition in ports and cities », 22 Avril 2015, Taets – Zaanstad (Pays-Bas).

MAT Nicolas, « L'économie circulaire et les territoires portuaires: Enjeux, applications et opportunités », Conférencier invité à l'Union des Ports de France, Paris, 2 mars 2015

MAT Nicolas, « Dynamique et interactions dans les territoires industrialo-portuaires », Session sur « Les entreprises en dehors de la ville », AVITEM, Marseille, 28 novembre 2014

MAT Nicolas, « The energy transition of Marseilles-Fos's port city, a concrete model of industrial ecology », 14^{ème} Conférence Mondiale Villes et Ports, Durban (Afrique du Sud), 6 novembre 2014

MAT Nicolas, « Dealing with change and sustainability in a global trade network: dynamics and main lessons from port cities areas » Third International Science and Policy Conference on the resilience of social and ecological systems - Montpellier, France – May 4-8, 2014

MAT Nicolas, "Dynamics of industrial ecology in port areas: new challenges and real opportunities in Europe and in Asia", ISIE Conference, Ulsan (Corée du sud), juin 2013

MAT Nicolas, Retours d'expériences internationaux d'écologie industrielle dans les territoires portuaires, Fos-sur-Mer, juin 2013

MAT Nicolas, JUNQUA Guillaume, GONZALEZ Catherine, « Comparison of implementation of urban metabolism methodologies: Case study in Aveiro, Barcelona, Marseille », Final Conference Ecotech Sudoe, Toulouse, juin 2013

MAT Nicolas, Les territoires portuaires à l'heure de l'écologie industrielle. Retours d'expériences à l'échelle internationale. Session « Port du futur et énergie : Le port acteur engagé dans la transition énergétique ». Assises du Port du Futur, Marseille, mai 2013

MAT Nicolas, Conférence-débat sur la Chine. « La transition écologique chinoise vers une économie circulaire », Gignac, avril 2013

MAT Nicolas, JUNQUA Guillaume, GONZALEZ Catherine, « Optimisation de la gestion des ressources sur un territoire par une démarche d'écologie industrielle : exemples d'outils développés dans le cadre du projet Ecotech Sudoe », Colloque francophone « écologie politique VS écologie industrielle: quelles stratégies pour le DD? », Clermont-Ferrand, mars 2013

MAT Nicolas, intervention dans le cadre d'une conférence plénière du SPPPI PACA sur le thème de l'écologie industrielle et territoriale dans les territoires portuaires, Aix-en-Provence, octobre 2012

MAT Nicolas, intervention dans le cadre de l'atelier de travail « Outils et méthodes », 1^{ère} rencontres francophones de l'écologie industrielle et territoriale, Troyes, octobre 2012

Publications

Affiches (AFF) :

MAT Nicolas, JUNQUA Guillaume, GONZALEZ Catherine, "Comparison of the implementation of MFA, EE I-O and process LCA on different cities of Southern Europe for their urban metabolism study", ISIE Conference, Ulsan (Corée du sud), juin 2013

Proceedings (communications avec actes) (COM):

MAT Nicolas, CERCEAU Juliette, JUNQUA Guillaume, LOPEZ-FERBER Miguel. " Des approches cloisonnées à l'approche territoriale, plus-value des interactions fonctionnelles dans les territoires industrialo-portuaires", Conférence interdisciplinaire sur l'écologie industrielle et territoriale. Troyes, 9 octobre 2014

MAT Nicolas, CERCEAU Juliette, JUNQUA Guillaume, LOPEZ-FERBER Miguel, GONZALEZ Catherine, « Contributions de l'écologie industrielle et territoriale au renouvellement des dynamiques portuaires en matière de gestion des déchets : retours d'expériences à l'échelle internationale », Conférence Interdisciplinaire sur l'Ecologie Industrielle et Territoriale, Troyes, octobre 2012

Chapitres d'ouvrages collectifs et co-direction d'ouvrages (OS) :

ALIX, Y., MAT, N., CERCEAU, J., 2015 (à paraître). Economie circulaire et Ecosystèmes portuaires. Co-direction de l'ouvrage collectif (Tome 4 de la Collection Les Océanides).

MAT, N., CERCEAU, J., JUNQUA, G., LOPEZ-FERBER, M., 2015 (à paraître). Les ports au cœur des nouvelles filières de recyclage. Réalités Industrielles.

MAT, N., CERCEAU, J., JUNQUA, G., DAGNET, F., MOINE, H., 2014. La gouvernance Port-Ville face aux enjeux d'une société bas-carbone : illustration avec le cas de Marseille-Fos. Capsule professionnelle dans le cadre du Tome 3 : Les Gouvernances ville-port. Collection Les Océanides (2014)

CERCEAU, J., DONSIMONI, M., LABARONNE, D., MAT, N., 2014. Ecologie industrielle dans les territoires portuaires du Maghreb. Cas de Jorf Lasfar (Maroc) et Bejaïa (Algérie) dans LABARONNE, D. (Coord). Villes portuaires au Maghreb, acteurs du développement durable. Presses des Mines - TRANSVALOR, Paris (2014)

Autres productions (AP):

Révision et analyse critique d'un chapitre dans MERK, O. The competitiveness of global port-cities: synthesis report. OCDE. www.oecd.org/gov/regional-policy/Competitiveness-of-Global-Port-Cities-Synthesis-Report.pdf. (2013)

Articles dans des revues professionnelles, scientifiques ou techniques (ACLN):

MAT, N., CERCEAU, J., JUNQUA, G., LOPEZ-FERBER, M., 2015 (en cours de soumission). Complexity as a mean for resilience in port metropolitan areas: application to Aix-Marseille case study in France.

MAT, N., CERCEAU, J., 2015. Economie circulaire et écosystèmes portuaires. Note stratégique et prospective réalisée pour le compte de la Fondation Sefacil.

MAT, N., CERCEAU, J., SHI, L., PARK, H-S., JUNQUA, G., LOPEZ-FERBER, M., 2015. Socio-ecological transitions toward low-carbon port cities: trends, changes and adaptation processes in Asia and Europe. Journal of Cleaner Production.

MAT, N., JUNQUA, G., CERCEAU, J., 2014. Ecologie industrielle dans les territoires portuaires. Pratiques internationales et expériences françaises. Techniques de l'Ingénieur

CERCEAU, J., MAT, N., JUNQUA, G., LIN, L., LAFOREST, V., GONZALEZ, C., 2014. Implementing industrial ecology in port cities: international overview of case studies and cross-case analysis. Journal of Cleaner Production.

MAT Nicolas, JUNQUA Guillaume, CERCEAU Juliette. Janvier 2012, « L'écologie industrielle appliquée aux territoires portuaires : une stratégie d'avenir, une réalité à l'échelle internationale », Dock infos n°78 de l'Association Internationale Villes & Ports

Montage, organisation et pilotage d'un Workshop national

- Séminaire national du 4 avril 2013 organisé à Paris, ayant rassemblé une communauté d'acteurs provenant des principaux territoires portuaires français porteurs de démarches d'écologie industrielle (Bordeaux, Nantes Saint-Nazaire, Le Havre, Paris, Dunkerque, Strasbourg, Lyon, Marseille).
- Ateliers de travail sous l'égide de l'Institut de l'Economie Circulaire :
 - Session n°1 - 25 septembre 2014 – Assemblée Nationale (Paris). Réactualisation du panorama des projets et démarches en cours sur les territoires industrialo-portuaires français & Préparation feuille de route de l'Atelier pour 2014/2015
 - Session n°2 - 16 décembre 2014 – Assemblée Nationale (Paris). Les territoires portuaires dans la transition énergétique & Des éléments de « boîte à outils » pour les acteurs de terrain.
 - Session n°3 – 18 juin 2015 – Dunkerque. Enjeux de gouvernance liés au développement et à la pérennisation des démarches d'écologie industrielle et d'économie circulaire au sein des territoires portuaires

Mise en place de collaborations nationales et internationales

- Scientifiques : Université Tsinghua (Chine), Université d'Ulsan (Corée du Sud), PS2E
- Opérationnelles (pistes): GIE Progres à Agadir (Thierry Cahuzac), projet franco-chinois ANR ECO-TS

TABLE DES MATIERES

| | |
|--|-----------|
| REMERCIEMENTS | 3 |
| LISTE DES TABLEAUX | 7 |
| LISTE DES FIGURES..... | 7 |
| AVANT-PROPOS | 9 |
| INTRODUCTION GENERALE | 11 |
| A. MISE EN CONTEXTE | 11 |
| CRISE ECOLOGIQUE ET SOCIETALE ET LIMITES DES REPONSES APORTEES AUJOURD’HUI | 11 |
| • <i>LES LIMITES DU MODELE PRODUCTIVISTE ACTUEL FACE AUX ENJEUX DU 21EME SIECLE.....</i> | 11 |
| • <i>UNE CRISE SYSTEMIQUE, QUI RESTE DIFFICILE A APPREHENDER</i> | 14 |
| COMPLEXITE, RESILIENCE, CHANGEMENT, MATURATION, ENJEUX DE LA TRANSITION ECOLOGIQUE | 17 |
| • <i>DEVELOPPEMENT DURABLE ET SYSTEMIQUE</i> | 17 |
| • <i>COMPLEXITE ET RESILIENCE, HYPOTHESE CADRE DE NOTRE RECHERCHE</i> | 18 |
| • <i>RECOURS A L’ANALOGIE AVEC LES ECOSYSTEMES.....</i> | 19 |
| L’ECONOMIE CIRCULAIRE, UN LEVIER POUR LA TRANSITION DES TERRITOIRES | 21 |
| • <i>L’ECOLOGIE INDUSTRIELLE ET TERRITORIALE</i> | 22 |
| • <i>LA REFLEXION A L’ECHELLE D’UN TERRITOIRE</i> | 24 |
| LES ESPACES INDUSTRIALO-PORTUAIRES SONT EMBLEMATIQUES DES ENJEUX ACTUELS A LA FOIS GLOBAUX ET LOCAUX. 26 | |
| • <i>INTRODUCTION AU FAIT PORTUAIRE, UN ESPACE SINGULIER MAIS REPRESENTATIF DE NOS SOCIETES ACTUELLES</i> | 26 |
| • <i>LES PORTS AU CŒUR DES ENJEUX DE LA TRANSITION ENERGETIQUE ET DES TERRITOIRES.....</i> | 29 |
| B. PERIMETRE ET PROBLEMATIQUE DE RECHERCHE..... | 31 |
| DEFINITION ET PRECISION DU PERIMETRE D’ETUDE..... | 31 |
| • <i>LE SOUS-SYSTEME URBAIN</i> | 35 |
| • <i>LE SOUS-SYSTEME AGRICOLE</i> | 37 |
| • <i>LE SOUS-SYSTEME INDUSTRIALO-PORTUAIRE</i> | 39 |
| • <i>DES INTERACTIONS A L’ECHELLE DES FLUX, DES ACTEURS, DES ESPACES</i> | 42 |
| PROBLEMATIQUE DE RECHERCHE | 43 |
| TROIS HYPOTHESES DE RECHERCHE..... | 45 |
| C. ARTICULATION GLOBALE DU MANUSCRIT | 46 |
| « PARTIS-PRIS METHODOLOGIQUES » | 46 |
| ARCHITECTURE DU TRAVAIL DE RECHERCHE..... | 46 |

CHAPITRE 1 : DE DEMARCHES D'OPTIMISATION SECTORIELLE AUX APPROCHES TERRITORIALES DE L'ÉCOLOGIE INDUSTRIELLE, ECLAIRAGES A TRAVERS UN RETOUR D'EXPERIENCES INTERNATIONAL
..... 49

| | |
|---|-----------|
| 1.1. INTRODUCTION AU CHAPITRE 1 : PORT ET ENERGIE | 49 |
| 1.1.1. LE PORT LEVIER POUR LA MISE EN ŒUVRE DE L'ÉCOLOGIE INDUSTRIELLE | 49 |
| 1.1.2. L'IMPORTANCE DES ENJEUX ENERGETIQUES | 50 |
| 1.2. METTRE EN ŒUVRE L'ÉCOLOGIE INDUSTRIELLE DANS LES VILLES PORTUAIRES : RETOURS D'EXPERIENCES INTERNATIONALES ET ANALYSE CROISEE D'ETUDES DE CAS | 51 |
| 1.3. DISCUSSIONS DU CHAPITRE 1 : VERS DES APPROCHES TERRITORIALES ET DECLOISONNEES DE GESTION DES RESSOURCES | 78 |
| 1.3.1. INTERACTIONS FONCTIONNELLES DANS LES INITIATIVES PORTUAIRES D'ÉCOLOGIE INDUSTRIELLE | 79 |
| • Modèle « Eco-site », des interactions principalement entre industriels | 79 |
| • Modèle « Eco-territoire », émergence d'interactions fonctionnelles entre industries portuaires, ville et agriculture..... | 80 |
| • Modèle Eco-réseau, interactions industrielles entre espaces portuaires..... | 83 |
| 1.3.2. PERIMETRE PORTUAIRE D'ÉCOLOGIE INDUSTRIELLE, ENJEUX DE PROXIMITE..... | 84 |
| 1.4. CONCLUSION DU CHAPITRE 1 ET TRANSITION | 86 |

CHAPITRE 2 : TRAJECTOIRES D'ÉVOLUTION DES TERRITOIRES PORTUAIRES VERS DES APPROCHES TERRITORIALES D'ÉCOLOGIE INDUSTRIELLE ET LOW CARBON
..... 89

| | |
|--|------------|
| 2.1. INTRODUCTION AU CHAPITRE 2 : ENJEUX METHODOLOGIQUES ET PREMIERS CONSTATS | 89 |
| 2.1.1. METHODOLOGIE POUR UNE COMPARAISON DE TERRITOIRES PORTUAIRES SUR LES ENJEUX D'ÉCOLOGIE INDUSTRIELLE | 89 |
| 2.1.2. UNE CONFIRMATION DU CARACTERE ADDITIONNEL ET COMPLEMENTAIRE DES DIFFERENTS MODELES TERRITORIAUX D'ÉCOLOGIE INDUSTRIELLE AU SEIN DES PLACES INDUSTRIALO-PORTUAIRES | 90 |
| 2.1.3. UNE APPROCHE PLUTOT REACTIVE | 92 |
| 2.2. TRAJECTOIRES SOCIOÉCOLOGIQUES VERS DES VILLES PORTUAIRES BAS CARBONE : PROCESSUS D'ADAPTATION EN ASIE ET EN EUROPE | 93 |
| 2.3. VERS UNE PLUS GRANDE INTERACTION FONCTIONNELLE PAR LA MISE EN ŒUVRE DE DYNAMIQUES TERRITORIALES D'ÉCOLOGIE INDUSTRIELLE AU SEIN DE TERRITOIRES RECOMPOSES | 116 |
| 2.3.1. UNE LECTURE DES TRAJECTOIRES SOCIO-ÉCOLOGIQUES A TRAVERS LES INTERACTIONS FONCTIONNELLES | 116 |
| 2.3.2. VERS UN RENOUVELLEMENT DES INTERACTIONS ENTRE SOUS-SYSTEMES TERRITORIAUX, LE LEVIER ENERGETIQUE | 118 |
| 2.3.3. VERS UNE METROPOLISATION DES DEMARCHES PORTUAIRES D'ÉCOLOGIE INDUSTRIELLE..... | 125 |
| 2.4. CONCLUSION DU CHAPITRE 2 ET TRANSITION | 126 |

CHAPITRE 3 : PLUS-VALUE TERRITORIALE ET PROCESSUS DE COMPLEXIFICATION AU SEIN DES TERRITOIRES PORTUAIRES EN PERIODE DE TRANSITION
.....127

| | |
|---|------------|
| 3.1. INTRODUCTION AU CHAPITRE 3 : PROCESSUS DE COMPLEXIFICATION DU TERRITOIRE PORTUAIRE..... | 127 |
| 3.1.1. UN PROCESSUS DE-CORRELE D'UNE VERITABLE AMBITION TERRITORIALE ET POLITIQUE..... | 128 |

| | |
|---|-------------------|
| 3.1.2. UNE PHASE DE TRANSITION ENERGETIQUE QUI S'APPUIE SUR UNE DIVERSIFICATION DU MIX ENERGETIQUE ET SUR DE NOUVELLES INTERACTIONS FONCTIONNELLES LOCALES..... | 129 |
| 3.2. LA COMPLEXITE COMME FACTEUR DE RESILIENCE D'UN TERRITOIRE METROPOLITAIN PORTUAIRE..... | 130 |
| 3.3. DISCUSSIONS DU CHAPITRE 3 : COMPLEXITE ET TRANSITION ENERGETIQUE DES TERRITOIRES PORTUAIRES..... | 149 |
| 3.3.1. LE TERRITOIRE PORTUAIRE : UN TERRITOIRE COMPLEXE EVOLUANT ENTRE STRATEGIE D'ÉCOLOGIE INDUSTRIELLE ET TERRITORIALE ET STRATEGIE D'ÉCONOMIE CIRCULAIRE | 149 |
| 3.3.2. UNE NOUVELLE FAÇON DE CARACTERISER L'ÉVOLUTION ET LA DURABILITE D'UN TERRITOIRE | 151 |
| 3.3.3. COMMENT, COMBIEN ET POURQUOI CREER DE LA COMPLEXITE TERRITORIALE ? | 155 |
| 3.4. CONCLUSION DU CHAPITRE 3 | 159 |
| | |
| <u>CONCLUSION GENERALE : SYNTHÈSE ET PERSPECTIVES.....</u> | <u>161</u> |
| | |
| A. SYNTHÈSE DES PRINCIPAUX ENSEIGNEMENTS | 161 |
| UNE DIVERSITÉ D'APPROCHES D'ÉCOLOGIE INDUSTRIELLE OBSERVÉE AU SEIN DES ESPACES PORTUAIRES | 162 |
| UNE DIVERSIFICATION DES SOURCES ENERGETIQUES ET UNE AUGMENTATION DES INTERACTIONS LOCALES | 162 |
| UNE PLUS-VALUE TERRITORIALE DIFFICILE À ÉVALUER | 163 |
| B. DES DEFIS POUR AUJOURD'HUI ET POUR DEMAIN | 164 |
| DES ESPACES OU S'INVENTENT ET S'EXPERIMENTENT DE NOUVEAUX MODELES..... | 164 |
| UN DEPLOIEMENT DE L'ÉCOLOGIE INDUSTRIELLE QUI RESTE ENCORE MODESTE..... | 165 |
| UNE COMPLEXITE QUI N'EST PAS SANS CONTRAINTES | 166 |
| UNE ÉVOLUTION DU RÔLE DES PORTS ET DE NOUVEAUX INDICATEURS | 166 |
| VERS UN NOUVEAU PRISME DE PILOTAGE TERRITORIAL ?..... | 168 |
| LES LIMITES (ETHIQUES) DE L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE..... | 169 |
| L'OUVERTURE COMME LEIT-MOTIV | 170 |
| C. DES PERSPECTIVES OPERATIONNELLES ET DE RECHERCHE POUR L'ÉVOLUTION DES TERRITOIRES PORTUAIRES...171 | |
| | |
| <u>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</u> | <u>173</u> |
| | |
| <u>ANNEXES</u> | <u>189</u> |
| | |
| ANNEXE 1 – PUBLICATION | 191 |
| ANNEXE 2 – PUBLICATION | 203 |
| ANNEXE 3 – PUBLICATION | 227 |
| ANNEXE COMPLÉMENTAIRE : POSITIONNEMENT ET PRODUCTION SCIENTIFIQUE | 239 |

NNT : 2015 EMSE 0799

Nicolas MAT

TRANSITION DYNAMICS IN PORT INDUSTRIAL AREAS:
CONTRIBUTION OF INDUSTRIAL ECOLOGY TO ADAPTATION
PROCESS TOWARDS A LOW-CARBON SOCIETY

Speciality : Science and Environmental Engineering

Keywords : Energy transition, Port areas, Industrial ecology, Complexity

Abstract :

One of the major issues facing our industrialized societies is the energy transition, which induces major industrial and social transformations. Port and harbor areas, which are strategic places concerning import and transformation of fossil fuels, concentrate these industrial challenges, dealing with mitigation of emissions of greenhouse gases and diversification of energy mix. By mobilizing the theoretical frameworks of industrial ecology and complexity, this PhD work aims to better understand and characterize current adaptation process developed within these territories.

In this work, we consider the industrial, urban and agricultural subsystems present in a port area. When doing this, the port area is proving to be a formidable field of experimentation of new practices based on greater cooperation between players at the crossroads between a global circular economy and a local industrial ecology. Starting from an international feedback which enabled the identification of different territorial organization models, this research then compared the socio-ecological evolution of three European and Asian port areas. If the dynamics of metropolisation seem to appear as a constant in most of these large coastal areas, it also contributes to the whole complexity of the port territorial matrix. Indeed, new organizational approaches now complement technological developments. In the third part, the study of the port area of Marseille-Fos has enabled to highlight a phenomenon of functional interactions operated within the territory for the benefit of its gradual transition to a low-carbon society.

NNT : 2015 EMSE 0799

Nicolas MAT

DYNAMIQUES DE TRANSITION DANS LES TERRITOIRES
PORTUAIRES: APPORT DE L'ÉCOLOGIE INDUSTRIELLE ET
TERRITORIALE AUX PROCESSUS D'ADAPTATION VERS UNE
SOCIÉTÉ BAS-CARBONE

Spécialité: Sciences et Génie de l'Environnement

Mots clefs : Transition énergétique, Territoire portuaire, Ecologie industrielle, Complexité

Résumé :

L'un des enjeux majeurs auxquels nos sociétés industrialisées est celui de la transition énergétique, lequel induit des transformations industrielles et sociales majeures. Principales places d'importations et de transformation des énergies d'origine fossile, les espaces portuaires concentrent ces défis de mutations industrielles, de réduction des émissions de gaz à effet de serre et de diversification du bouquet énergétique. En mobilisant les cadres théoriques de l'écologie industrielle et de la complexité, ce travail de thèse vise à mieux comprendre et caractériser les processus d'adaptation actuels développés au sein de ces territoires. Appréhendé dans une acception large de son périmètre, intégrant les dimensions industrielle, urbaine et agricole le composant, le territoire portuaire se révèle être un formidable terrain d'expérimentations de nouvelles pratiques basées sur une plus grande coopération entre acteurs, à la croisée des chemins entre une économie circulaire globale et une écologie industrielle locale. Partant d'un retour d'expériences mené à l'échelle internationale de démarches d'écologie industrielle, ayant permis la mise en évidence de différents modèles territoriaux d'organisation, ce travail de recherche a ensuite comparé l'évolution socio-écologique de trois territoires portuaires européens et asiatiques. Si la dynamique de métropolisation semble apparaître comme une constante dans la plupart de ces grands espaces côtiers, celle-ci contribue aussi à la complexification de la matrice territoriale portuaire. De nouvelles approches d'ordre organisationnel viennent ainsi compléter les évolutions technologiques. Dans une troisième partie, l'étude de l'espace portuaire de Marseille-Fos a ainsi permis de mettre en lumière un phénomène d'interactions fonctionnelles opéré au sein du territoire, au profit de sa transition progressive vers une société à bas-carbone.