

## DEUXIEME PARTIE : ADAPTATION

Olivier Plantard  
INRA  
olivier.plantard  
@nantes.inra.fr

Laurent Hubert  
INRA  
Laurent.hubert  
@grignon.inra.fr

Jean-François Guégan  
IRD, FutureEarth  
Jean-francois.guegan  
@ird.fr

### Les nouveautés de la recherche scientifique : Changement climatique et écologie de la santé

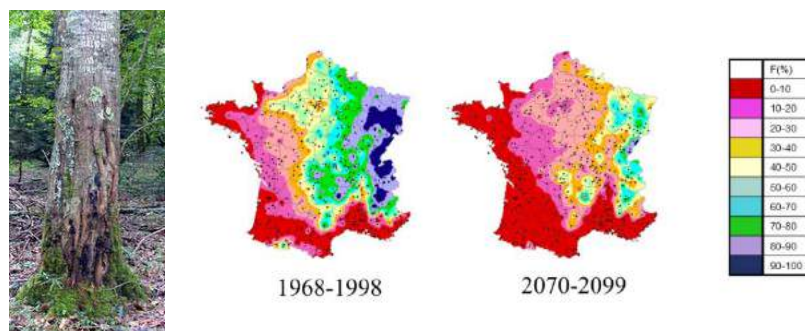
Climat et santé sont liés. La santé humaine, végétale ou animale est soumise à la saisonnalité du climat. S'il change, la saisonnalité des maladies devrait également évoluer. Dès lors, se pose la question des conséquences sanitaires du changement climatique. Sont-elles toujours négatives, comme certains articles alarmistes le laissent penser? La situation est complexe et donc plus nuancée. Certes, des événements extrêmes, tels que les canicules, les inondations ou les tempêtes violentes, se feront plus intenses et plus fréquents dans les années à venir, et pourraient générer un impact défavorable accru et une baisse de l'efficacité des systèmes sanitaires, notamment dans les zones les plus fragiles du monde. Néanmoins, cet impact reste difficile à estimer, car il est difficile de prévoir la fréquence de tels événements de nature rare. Une autre conséquence attendue du changement climatique sur la santé concerne la modification des risques environnementaux, via une exposition accrue au rayonnement ultraviolet ou à des polluants atmosphériques, tels que l'ozone. Certains effets seront néfastes, mais d'autres pourraient se révéler positifs, en faisant disparaître dans certaines régions, des virus, des bactéries ou des champignons parasites. Là encore, l'impact général demeure incertain.

#### 1. Déclenchement des épidémies

Les systèmes infectieux présentent de nombreuses interactions entre les acteurs impliqués et leur environnement. Commençons par des systèmes biologiques simples, où deux espèces en interaction, l'hôte et l'agent pathogène, évoluent dans un écosystème naturel. Simplifions encore en considérant les hôtes dont la température corporelle n'est pas régulée - à l'instar des plantes, insectes, reptiles ou poissons -, et qui sont, par conséquent, très sensibles aux conditions météorologiques ambiantes et à leur évolution.

Dans le cas de l'encre du chêne, maladie infectieuse due à un champignon parasite, le réchauffement climatique semble bien responsable de la progression de cette maladie chez certaines espèces d'arbres, par exemple le chêne rouge d'Amérique et le chêne pédonculé. Au moyen de simulations numériques, permettant de modéliser la survie hivernale de l'agent pathogène en fonction de la température de son microhabitat (le phloème des arbres infectés, c'est-à-dire le tissu qui conduit un type de sève), des chercheurs de l'INRA et de Météo-France ont établi que ce champignon devrait se déplacer progressivement vers l'Est de la France, entraînant un accroissement du potentiel d'expansion de cette maladie sur la majorité du territoire d'ici la fin du XXI<sup>e</sup> siècle.

**Figure 5 : Cartographie prévisionnelle de la survie hivernale du champignon *Phytophthora cinnamoni* (à l'origine de la maladie de l'encre du chêne dont on voit les symptômes à gauche) à la fin du 20ème et du 21ème siècle.**



Source : F correspond à la fréquence des années où la survie hivernale est inférieure à 5%.

Au contraire, d'autres travaux ont mis au jour une influence favorable du changement climatique sur la santé des plantes. C'est le cas d'une étude réalisée en 2010 (ANR Climator) sur trois maladies affectant des cultures annuelles ; la septoriose du blé, la rouille brune du blé et le botrytis de la vigne - causées par des champignons pathogènes aériens. Des modèles numériques prenant en compte l'évolution de la température et du taux d'humidité de l'air ont permis d'estimer la durée au cours de laquelle de l'eau est présente à la surface des feuilles de blé, notamment. En effet, l'infection par le micro-organisme à l'origine de la maladie de la rouille brune nécessite la présence d'eau sur les feuilles. Ainsi, tant que de l'eau est présente, la plante est contaminée en présence d'inoculum. Pour les régions de Dijon et de Colmar, les simulations indiquent que la durée des périodes où l'infection sévit devrait diminuer d'environ 30 pour cent d'ici la fin du siècle, ce qui conduirait à une baisse des risques d'infection du blé par les spores de la rouille brune. Même si ces travaux préliminaires sont encourageants, ils demandent à être confortés et élargis à d'autres maladies fongiques dont souffrent les cultures.

#### Encadré 1 : mortalité hivernale et estivale chez l'homme

Si la canicule de 2003, plus particulièrement en France qu'ailleurs en Europe, reste un événement climatique d'ampleur exceptionnelle puisqu'elle a eu des conséquences sur la santé de la population, des écosystèmes et sur les infrastructures, il n'en demeure pas moins qu'il est reconnu depuis longtemps que les taux de mortalité dans les régions tempérées de l'hémisphère Nord sont largement plus élevés pendant l'hiver que pendant toute autre saison de l'année. Aussi paradoxal que cela puisse paraître pour un public non averti, selon Kinney et ses collaborateurs (2012), il n'est aujourd'hui pas pertinent de considérer que la relation température-mortalité, simplement transposée dans un contexte de changement climatique, permettrait de conclure à une baisse significative de la mortalité hivernale. Tout au contraire, dans des conditions de réchauffement global, nous pourrions connaître une mortalité hivernale en augmentation au fur et à mesure que les habitants de ces régions s'adaptent (par leur comportement...) à des températures plus élevées. Aujourd'hui les mécanismes de l'effet hivernal saisonnier ou de l'effet des températures basses ne sont pas bien compris, et l'on évoque l'action indépendante ou conjointe de complications cardio-vasculaires mais aussi inflammatoires dues à des infections respiratoires, la grippe en étant l'exemple le plus frappant et le plus significatif. Avant toute généralisation, force est de constater que d'importantes disparités géographiques globales ou plus locales peuvent exister. En matière d'études écologiques et épidémiologiques, nous sommes aussi pauvres en informations quantitatives fiables permettant d'étudier en regard d'un changement climatique attendu les risques sanitaires, de mettre en évidence les populations les plus vulnérables ainsi que définir les mesures de prévention et d'adaptation appropriées.

## 2. Le rôle de la température

En termes d'impact du changement climatique, les variations de température joueront un rôle important sur le développement des

maladies infectieuses. En influant sur le métabolisme des parasites et des organismes hôtes, ces variations conditionnent les vitesses de développement et, par conséquent, interviennent sur l'expansion ou la diminution de leurs aires de répartition. Là où la température influe sur la vitesse de tout processus biologique, la pluie agit plus spécifiquement, par exemple, sur l'infection fongique des plantes et la dispersion des spores et bactéries. Même s'il est admis que la fréquence des événements extrêmes va augmenter, par exemple celle des épisodes pluvieux de longue durée, le caractère intermittent de la pluie et les incertitudes sur les données à l'échelle de la journée rendent difficile la prédiction d'une répartition de la pluie par heure. C'est un enjeu pour la recherche météorologique, car ces données à une échelle temporelle très inférieure à la journée sont parfois nécessaires pour la modélisation de ces processus.

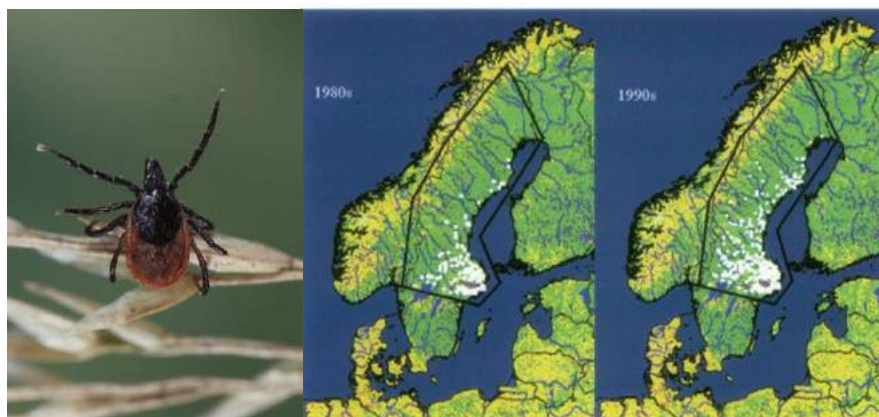
### 3. Les maladies et leurs vecteurs

Examinons à présent le cas des maladies à transmission vectorielle, telles que le paludisme, la dengue ou le chikungunya. Ces agents infectieux se propagent d'un humain à un autre par l'intermédiaire de vecteurs, de petits arthropodes qui se nourrissent de sang : moustiques, moucheron, poux, punaises, tiques, etc. qui peuvent différer en fonction des maladies transmises. Chez l'homme, les maladies vectorielles sont responsables de près d'un quart des épidémies émergentes recensées dans le monde. Puisque les vecteurs ne régulent pas leur température interne, les conditions météorologiques conditionnent leur développement, leur survie, leur fécondité et leur dispersion. Elles déterminent aussi la croissance du parasite et, dans une moindre mesure, les interactions du vecteur et de son agent pathogène, ainsi que du vecteur et de l'humain hôte.

Dans le contexte actuel du changement climatique, les maladies vectorielles sont observées avec attention par les épidémiologistes. Dans l'hémisphère Nord, la répartition de certains vecteurs, telle la tique *Ixodes ricinus*, est d'ores et déjà modifiée. Vecteur de nombreuses maladies comme la maladie de Lyme et l'encéphalite à tique notamment, cette tique a progressé vers le Nord de la Suède. En 16 ans, la surface de la zone où elle est rencontrée a doublé. Le changement climatique influe aussi sur la répartition des espèces « réservoirs » qui hébergent des agents pathogènes. En Amérique du Nord, l'aire de répartition de la souris à pattes blanches, principal réservoir de la bactérie *Borrelia burgdorferi* responsable de la maladie de Lyme, a progressé de 10 kilomètres par an vers le Nord.

Depuis les années 2000, la prédiction des changements d'aires de répartition des vecteurs et des hôtes réservoirs est devenue un champ de recherche particulièrement actif, grâce à l'essor de la modélisation des niches écologiques, décrites par un ensemble de paramètres à la fois biologiques et physico-chimiques. Cependant, même si la présence d'un vecteur est indispensable à la diffusion de ce type de maladies, elle ne constitue pas une condition suffisante pour qu'une épidémie se développe. Même si le rôle direct du changement climatique est en cause dans les modifications des aires de répartition de certains vecteurs, il est difficile de mettre en évidence son rôle dans l'augmentation de la prévalence de ces maladies dans des régions où elles étaient déjà présentes.

Figure 6 : La principale espèce vectrice de maladies en Europe



Note : la tique *Ixodes ricinus* (à gauche) a montré une progression vers le nord de son aire de distribution à la fin du 20<sup>ème</sup> siècle (ici en Suède entre les années 80 et 90).

La situation se complique encore quand on tient compte des activités humaines. La fièvre catarrhale ovine, ou maladie de la langue bleue, illustre les liens complexes et parfois trompeurs entre le changement climatique et la propagation d'une épidémie. La fièvre catarrhale touche les ruminants, mais pas l'homme. Cette maladie vectorielle est causée par un virus, qui est lui-même transmis par des petits moucheron piqueurs du genre *Culicoides*. Des épidémies de fièvre catarrhale étaient recensées en Afrique du Nord, où le virus était véhiculé par une espèce de moucheron (*C. imicola*), dont la présence n'avait jamais été enregistrée sur le continent européen. Or, dans les années 1980 et 1990, cette espèce a été détectée de plus en plus au Nord de son aire de répartition connue : en Italie, Sardaigne, Corse, puis dans le Sud de la France. En Europe, on redoutait ainsi qu'une épizootie (épidémie animale) n'arrive par le Sud. Mais c'est aux Pays-Bas qu'elle est apparue, en août 2006. En quelques années, l'épizootie s'est propagée à une vitesse de cinq kilomètres par jour dans toutes les directions, causant des dommages économiques importants dans les élevages ovins et bovins d'Europe de l'ouest : avortements, baisse de la production de lait et de viande, campagnes massives de vaccination, restriction des échanges commerciaux... En raison de la localisation du foyer d'origine, des directions qu'elle a suivies et du virus qui l'a causée (BTV8, une forme virale différente de celle présente en Afrique du Nord), cette épizootie ne peut être directement attribuée au changement climatique. On s'est aperçu que les moucheron impliqués dans la transmission du BTV8 dans ces nouveaux foyers correspondaient, non pas à *C. imicola*, mais à d'autres espèces, qui auparavant n'étaient pas considérées comme des vecteurs efficaces par les spécialistes.

**Tableau 2 : Classification des déterminants principaux responsables de l'émergence dans les populations humaines de 177 agents étiologiques responsables de maladies infectieuses émergentes, et présentation de quelques exemples de pathologies dont ils sont parmi les déterminants majeurs**

Rang	Déterminant (classé par ordre)	Exemples
1	Changements d'usage des sols, pratiques agricoles et agronomiques et procédés liés	Virus Nipah en Asie du Sud- Est, ESB
2	Changements démographiques, sociétaux et comportementaux	Coqueluche humaine, VIH, syphilis
3	Précarité des conditions sanitaires	Choléra, tuberculose
4	Liés à l'hôpital (nosocomial) ou à des erreurs de soins et de pratiques	Staphylococcus aureus, Pseudomonas aeruginosa
5	Evolution des agents pathogènes (résistance aux ERG, Chikungunya, antibiotiques, mutation, augmentation de virulence,...)	A/H1N1, H5N1
6	Contamination par les aliments ou l'eau	E. coli, ESB, Salmonella,
7	Voyages et échanges humains intercontinentaux	Dengue, grippe saisonnière, H5N1
8	Défauts, désorganisation des systèmes de santé et de surveillance	Maladie du sommeil en Afrique centrale, maladies à tique et tuberculose en ex-URSS,
9	Transports économiques de biens commerciaux et d'animaux	Virus Monkeypox, H5N1 Salmonella,...
10	Changement climatique	Paludisme en Afrique de l'Est, dengue en Asie du Sud-Est, leishmaniose viscérale dans le sud-européen (forte suspicion)

Source : Modifié de Woolhouse et Gowtage-Sequeria (2005) et adapté de Leport et Guégan (2011).

## 4. Les principales causes d'émergence

Parmi la multitude de publications scientifiques et institutionnelles qui se sont efforcées de mettre en lumière l'impact du changement climatique sur la santé humaine, les travaux de Mark Woolhouse et de Sonya Gowtage-Sequeria sont particulièrement intéressants. En réunissant une base de données très complète, ils ont classé les principales causes d'émergence et de dispersion de 177 agents infectieux apparus depuis les années 1960. Leurs conclusions battent en brèche une idée reçue : le changement climatique ne joue pas un rôle déterminant dans l'émergence de nouvelles maladies infectieuses, bien au contraire. Dans leur classement, il apparaît comme le dernier facteur, du moins à la date où ce travail a été réalisé car, en effet, celui-ci pourrait évoluer d'ici 2050 !

L'évolution génétique naturelle des micro-organismes y occupe la cinquième place. À titre d'exemple, rappelons que la mutation du virus du Chikungunya, qui s'est produite en septembre 2005 à La Réunion, a déclenché une épidémie de grande envergure qui a frappé plus de 300 000 personnes habitant les îles de l'océan Indien. Les changements démographiques, sociétaux et comportementaux (les pratiques à risque, notamment) figurent à la deuxième place du classement. En se fondant sur des modèles de niches écologiques, une étude sur la transmission de la dengue a ainsi montré que son expansion était principalement due aux densités élevées de population, aux conditions d'insalubrité ainsi qu'aux réseaux de transport humains. Enfin, au premier rang, se situent les changements d'usage des sols ainsi que les pratiques agricoles et agronomiques. Par ses activités, par ses comportements et par ses modes d'organisation socio-économique, l'homme est le principal responsable de l'apparition et de l'expansion des nouveaux agents pathogènes.

À travers tous ces exemples, on mesure combien l'impact du changement climatique sur les maladies infectieuses est complexe et difficile à étudier. D'une part, il est lié à de multiples acteurs : agents pathogènes,

organismes hôtes, vecteurs de transmission, espèces réservoirs et interventions humaines. D'autre part, il est soumis à plusieurs variables physiques telles que la température, l'humidité de l'air, le vent et les précipitations, dont l'évolution doit être estimée par l'analyse de leurs valeurs moyennes, mais aussi des valeurs extrêmes et de la variance autour des valeurs moyennes.

Enfin, les systèmes responsables de maladies ne sont ni fixes ni constants au cours du temps, car chacun des acteurs évolue en raison des modifications de la composition génétique des populations sous l'effet des différentes pressions de sélection exercées par les interactions des hôtes avec les agents pathogènes, ou par l'environnement.

## 5. L'écologie de la santé

Un cadre plus large, associant écologie et biologie évolutive, a été proposé depuis peu pour relever le défi de la résolution de ces questions complexes. À côté de l'approche One Health/One World, qui prend peu en compte l'environnement, citons l'approche EcoHealth qui met en avant « le partage des responsabilités et la coordination des actions globales pour gérer les risques sanitaires aux interfaces animal-homme-écosystèmes » et l'importance du « renforcement des collaborations entre santé humaine, santé animale et gestion de l'environnement ». Il s'agit d'élargir le champ d'analyse, traditionnellement centré sur la santé des individus, en considérant les modifications des écosystèmes, l'influence des changements planétaires (climatiques notamment) et la perte de diversité biologique, avec toutes leurs interactions directes et indirectes.

L'écologie de la santé traduit une prise de conscience du partage des responsabilités et de la nécessité de renforcer les actions communes concernant la santé humaine, la santé animale et la gestion de l'environnement. Dans les domaines animal et végétal, les conséquences sanitaires du changement climatique restent largement inexplorées, ce qui explique le lancement, début 2014, de nouveaux programmes de recherche par l'Agence Nationale de la Recherche et la Commission Européenne. Dans ce cadre, l'augmentation de la résilience des écosystèmes, le rôle de la biodiversité et le développement d'une approche interdisciplinaire et participative (associant chercheurs, entreprises, agriculteurs, gestionnaires, etc.) figurent parmi les grandes orientations actuelles de recherche.

## 6. Anticiper les évolutions

Dans le domaine végétal en particulier, les objectifs majeurs ont trait à la réduction de l'usage des pesticides et à la préservation des cultures face au réchauffement climatique. Une autre problématique importante a émergé : les rétroactions de la santé des plantes sur le climat. Une culture fortement atteinte, voire détruite, par une épidémie importante émet davantage de dioxyde de carbone dans l'atmosphère, à cause du dépérissement des plantes et d'une minéralisation plus forte des matières organiques contenues dans les sols.

Étant donné la complexité des phénomènes considérés, la modélisation représente un outil incontournable. Elle permet de se projeter dans le futur et d'établir des scénarios susceptibles de gérer et d'anticiper au mieux les évolutions attendues. Mais, pour être pertinents, précis et informatifs, les modèles doivent pouvoir se fonder sur des données de qualité et de longues séries temporelles et spatiales ; ce qui fait actuellement défaut en France.

Les dispositifs de suivis de longue durée, du type Long Term Ecological Research Network (réseau de recherche écologique sur le long terme), sont particulièrement précieux. Ils devraient bientôt intégrer des recherches épidémiologiques relatives aux effets du changement



# CLUB CLIMAT AGRICULTURE

MUTUALISER LES CONNAISSANCES POUR ATTÉNUER  
ET S'ADAPTER AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

## Dossier d'actualités n°6

### *Spécial COP21*

17 novembre 2015

### Tables Rondes :

La coordination filière : comment mobiliser l'amont et l'aval pour entraîner des changements de pratiques et des systèmes de production agricole ?

L'agroforesterie : quel impact carbone ? dans quelle mesure constitue-t-elle une voie d'adaptation ? quelles incitations à l'heure actuelle ?



Ce rapport a été réalisé par les équipes d'I4CE – Institute for Climate Economics, de l'INRA et de l'APCA. Il a été coordonné par Claudine Foucherot, I4CE.

Ce dossier est réservé exclusivement aux membres du Club Climat Agriculture. Toute diffusion est subordonnée à l'accord express des autres membres du Club. Toutefois, l'utilisation ponctuelle d'éléments graphiques est autorisée sous réserve de mentionner comme source : « Club Climat Agriculture – [www.i4ce.org](http://www.i4ce.org) »

Les recherches menées dans le cadre du Club Climat Agriculture sont intégralement financées par les membres des Clubs.

Cette publication ne constitue pas une analyse financière au sens de la réglementation.

La diffusion de ce document ne constitue ni (i) la fourniture d'un conseil de quelque nature que ce soit, ni (ii) la prestation d'un service d'investissement ni (iii) une offre visant à la réalisation d'un quelconque investissement.

Les marchés et actifs faisant l'objet des analyses contenues dans ce document présentent des risques spécifiques. Les destinataires de ce document sont invités à requérir les conseils (notamment financiers, juridiques et/ou fiscaux) utiles avant toute décision d'investissement sur lesdits marchés.





# CLUB CLIMAT AGRICULTURE

## Dossier n°6

# Dossier n°6 – 17 novembre 2015

<b>Focus COP21</b>	<b>5</b>
1. Etat des lieux du processus de négociations de la CCNUCC depuis juin 2015 .....	5
a) <i>Les enjeux du processus de négociations : que peut-on attendre de la COP21 à Paris ?</i>	5
b) <i>Point d'étape des négociations en vue de la COP21</i>	8
c) <i>Récapitulatif des contributions des pays (INDC)</i>	9
2. Les 28 Etats Membres adoptent le mandat de négociation de l'UE pour la COP21 .....	11
3. Le Parlement vote à une large majorité sa résolution en vue de l'accord de Paris .....	12
4. Récents développements dans le multilatéralisme climat : de nouveaux engagements qui renforcent la dynamique politique internationale .....	13
a) <i>Le nouvel Agenda 2030 du développement durable des Nations Unies</i>	13
b) <i>La Semaine du Climat de New York</i>	13
c) <i>La question du financement climat au cœur des réunions ministérielles informelles &amp; réunions annuelles de la Banque Mondiale et du FMI</i>	14
d) <i>La Pré-COP et le G20 : des avancées notables pour le processus de négociations</i>	14

## Première partie : Atténuation **16**

<b>Les réglementations affectant les émissions de de l'AAA .....</b>	<b>16</b>
<b>A. Paquet Climat Européen 2030 .....</b>	<b>16</b>
1. Le contexte de la consultation : l'intégration progressive d'un secteur stratégique .....	16
a) <i>Le secteur des terres dans la politique climatique européenne</i>	16
b) <i>3 options en discussion</i>	17
2. Un traitement spécifique pour LULUCF est encouragé .....	18
a) <i>La fixation de l'objectif : un enjeu fondamental encore prématuré pour les parties prenantes</i>	18
b) <i>La préférence pour l'option conservatrice</i>	19
c) <i>La flexibilité, une demande des pays de l'Est européen</i>	19
.....	20
<b>B. La stratégie nationale bas carbone .....</b>	<b>20</b>
a) <i>Eléments-clés du projet de stratégie bas-carbone</i>	20
b) <i>Focus sur le secteur agricole</i>	21
c) <i>Avis du Conseil national de la transition écologique (CNTE)</i>	22

## Deuxième Partie : Adaptation **24**

<b>Les nouveautés de la recherche scientifique : Changement climatique et écologie de la santé .....</b>	<b>24</b>
1. Déclenchement des épidémies .....	24
2. Le rôle de la température .....	25
3. Les maladies et leurs vecteurs .....	26
4. Les principales causes d'émergence .....	28
5. L'écologie de la santé .....	29
6. Anticiper les évolutions .....	29

## Troisième Partie : Les focus semestriels **31**

<b>I. Focus économique : L'approche filière pour une agriculture moins émettrice de GES et plus résiliente face au changement climatique – émergence d'initiatives privées .....</b>	<b>31</b>
1. Classification des initiatives .....	32
a) <i>Valorisation de la production</i>	32
b) <i>Le paiement pour service rendu</i>	33
c) <i>Affichage environnemental</i>	35
2. Des initiatives complémentaires .....	35
a) <i>Critères d'évaluation des initiatives privées</i>	35
b) <i>Des objectifs et des ambitions environnementales variées selon le type de démarche</i>	36
3. Les 4 leçons clés tirées de ces initiatives privées .....	38

sommaire