



#### PROJET ECCLAIRA

EVALUATION DU CHANGEMENT CLIMATIQUE, SES ADAPTATIONS ET IMPACTS EN RHONE-ALPES PARTENARIAT OPERATIONNEL ENTRE EQUIPES DE RECHERCHE ET COLLECTIVITES TERRITORIALES

ASSESSMENT OF CLIMATE CHANGE, ITS IMPACTS AND ADAPTATIONS IN THE RHONE-ALPES OPERATIONAL PARTNERSHIP BETWEEN RESEARCH TEAMS AND LOCAL AUTHORITIES



Programme Gestion et Impact des Changements Climatiques

Rapport de fin de contrat

Structure porteuse: Rhônalpénergie-Environnement, 10 rue des Archers – 69002 LYON

**Responsable**: Pierrick YALAMAS, coordonnateur du projet de recherche

**Date**: 15/11/2013

N° de contrat :

- Convention G. G.8.000 6649 Université Joseph Fourier
- Convention G. G.8.000 6650 Université de Savoie
- Convention G. G.8.000 6651 INSAVALOR
- Convention G. G.8.000 6652 RAEE

















# **RESUME**

L'objectif du projet ECCLAIRA était, non seulement de mieux sensibiliser les acteurs du territoire, de créer des liens entre la recherche et les décideurs, et par conséquent de faire avancer et de mutualiser la connaissance sur l'adaptation au changement climatique en région Rhône-Alpes, mais aussi d'apporter des premiers éléments de réponse concrets visibles sur le terrain.

Ainsi, par le biais d'un partenariat opérationnel entre collectivités territoriales et équipes de recherche, les actions menées dans le cadre du projet ECCLAIRA se sont structurées autour de la mise en place de deux initiatives expérimentales d'une part (étude de murs et toitures végétalisés à Lyon et étude des impacts du changement climatique dans la Drôme) et l'édition d'un guide « CLIMAT : réussir le CHANGEMENT », destiné aux élus et agents des collectivités territoriales d'autre part.

Au regard des résultats du projet, la collaboration entre collectivités et chercheurs sur le sujet de l'adaptation au changement climatique semble indispensable si l'on veut passer d'un concept de changement climatique relativement vague par une partie des acteurs du territoire, à des représentations concrètes, des chiffres, des graphes, des mesures que le territoire peut s'approprier, pour démontrer que le changement climatique existe bel et bien, et que des solutions éprouvées et validées peuvent être mises en place.

# **ABSTRACT**

The objective of ECCLAIRA was not only to raise awareness among local actors, to create links between researchers and decision makers, and therefore to develop and to share knowledge on adaptation to climate change in the Rhône Alps, but also to provide the first concrete answers visible on the ground.

Thus, through an operational partnership between local authorities and research teams, the actions in the project ECCLAIRA were structured around the implementation of two pilot initiatives on the one hand (the study of green walls and roofs in Lyon and the analysis of the impacts of climate change in the Drôme *Département*) and the publication of a guide "Climate: successful change" for elected officials and employees of local authorities on the other.

In view of the results of the project, collaboration between local authorities and researchers on the topic of climate change adaptation seems essential if we are to move from a concept of climate change rather vague by some local actors to concrete representations, figures, graphs, measures that can be appropriated at local level, to demonstrate that climate change does exist, and that validated solutions can be set up.

# Synthèse destinée à publication

# **Projet ECCLAIRA**

Evaluation du Changement Climatique, ses Adaptations et Impacts en Rhône-Alpes : partenariat opérationnel entre équipes de recherche et collectivités territoriales

# **Programme GICC**

Programme Gestion et Impact des Changements Climatiques

#### I. ASPECTS ADMINISTRATIFS ET OBJECTIFS DES RECHERCHES

## A. Aspects administratifs

- Date d'engagement : 2009
- Montant du budget : 240 k€ (Subvention GICC 180k€)
- Cofinancements obtenus:
  - o Région Rhône-Alpes
  - o ADEME CERTU Agence de l'Eau (sur la partie Guide)

# B. Participants au projet

- Responsable scientifique du projet :
  - Rhônalpénergie-Environnement Pierrick YALAMAS <u>pierrick.yalamas@raee.org</u>
- Noms et organismes des autres partenaires scientifiques bénéficiaires :
  - INSAVALOR Jean-Luc BERTRAND-KRAJEWSKI <u>jean-luc.bertrand-krajewski@insa-lyon.fr</u>
  - LTHE Université Joseph Fourier Sylvain BIGOT sylvain.bigot@ujf-grenoble.fr
  - LOCIE Université de Savoie Gérard MERLIN gerard.merlin@univ-savoie.fr

#### C. Mots Clés

Changement Climatique – Partenariat opérationnel collectivités/recherche - Végétalisation - Ressources en eau – Outils méthodologiques

### D. Objectifs des recherches

Le projet ECCLAIRA avait comme objectifs, non seulement de mieux sensibiliser les acteurs du territoire, de créer des liens entre la recherche et les décideurs, et par conséquent de faire avancer et de mutualiser la connaissance sur l'adaptation au changement climatique en région Rhône-Alpes, mais aussi d'apporter des premiers éléments de réponse concrets visibles sur le terrain.

Ainsi, par le biais d'un partenariat opérationnel entre les collectivités territoriales et les équipes de recherche, les actions menées dans le cadre du projet ECCLAIRA se sont structurées autour de la mise en place de deux initiatives expérimentales d'une part, et l'édition d'un guide destiné aux élus et agents des collectivités territoriales d'autre part.

La première expérimentation a consisté à étudier les impacts des toits et murs végétalisés dans les zones urbaines sous deux angles : l'atténuation des pics de chaleur et la régulation de l'eau. La deuxième s'intéressait à l'impact du changement climatique dans le Département de la Drôme, et plus particulièrement sur la gestion de la ressource en eau (actuelle et future), ainsi que sur les secteurs touristique de moyenne montagne et agricole. Ces actions ont pris la forme de partenariats opérationnels entre collectivités territoriales et équipes de recherche de la région Rhône-Alpes.

En parallèle à ces expérimentations, et afin d'aider les décideurs à prendre en compte la problématique de l'adaptation au changement climatique, le projet ECCLAIRA comportait un troisième volet lié à la diffusion de la connaissance, avec comme objectif la rédaction d'un guide à destination des collectivités.

## I. Presentation des travaux

#### A. Introduction (problématique)

L'incertitude scientifique liée à l'ampleur et aux conséquences du changement climatique tend à limiter la mise en place des stratégies d'adaptation. Il est pourtant aujourd'hui nécessaire de s'adapter pour les territoires, et cela passe par l'identification de mesures concrètes à mettre en place localement. Pour cela, les collectivités territoriales ont besoin à la fois d'éléments de compréhension du changement climatique, mais aussi d'éléments de réponse.

Dans ce contexte, la mise en place de partenariats entre équipes de recherche et collectivités semble particulièrement pertinente, en permettant aux uns de bénéficier de terrains d'expérimentation, et ainsi d'avancer plus rapidement dans leur recherche, et aux autres, de mieux comprendre la problématique de l'adaptation sur leur territoire et de renforcer leur capacité à s'adapter.

En effet, quand il s'agit de mettre en place une politique d'adaptation, le besoin de connaissance scientifique est réel : les collectivités sont à la recherche de preuves qui leur permettent d'appuyer leur discours relatif au changement climatique auprès des acteurs locaux.

En amont, elles ont besoin de **données locales d'observation** des phénomènes passés et présents concernant le changement climatique issues de mesures et de projections scientifiques validées et cautionnées par des organismes reconnus à l'échelle nationale. Cet

appui scientifique est nécessaire pour convaincre les acteurs des territoires de l'importance du changement climatique en cours et à venir. Ainsi, le Conseil général de la Drôme, face à la sensibilité de son territoire à la disponibilité de la ressource en eau et à la fragilité de ses zones de moyenne montagne, a orienté l'équipe de recherche en charge du **projet « DECLIC¹ »** vers l'étude des impacts du changement climatique sur la ressource en eau et sur ses activités touristiques, forestières et agricoles, notamment en moyenne montagne. Il s'agit du périmètre d'action du volet DECLIC d'ECCLAIRA.

En aval, il est important pour les collectivités d'obtenir une validation scientifique des actions d'adaptation qu'elles envisagent de mettre en place. Ainsi, l'utilisation de murs ou toitures végétalisés sur les bâtiments est souvent mentionnée dans la littérature sur le changement climatique, comme l'une des actions d'adaptation permettant de réguler les pics de chaleur urbains. Mais l'effet bénéfique de ces équipements a été relativement peu évalué en termes scientifiques, et les aspects techniques concernant la thermique, la régulation hygrothermique et l'amortissement acoustique auxquels contribuent ces structures, très peu étudiés jusqu'à ce jour. Ainsi, le volet « végétalisation » d'ECCLAIRA, initialement porté par la Ville de Lyon, a pour objectif de faire progresser les connaissances dans le domaine de la végétalisation des bâtiments urbains.

Enfin, les collectivités ont besoin d'outils leur permettant la sensibilisation des acteurs au changement climatique. C'est dans cet optique que s'inscrit le troisième volet du projet ECCLAIRA, avec comme triple objectif de (i) permettre la sensibilisation des élus à la problématique du changement climatique, (ii) fournir une liste d'opérations exemplaires en matière d'adaptation et (iii) établir une méthodologie pour la mise en place des stratégies d'adaptation sur des territoires.

# B. Matériel et méthodes (sites, espèces, protocoles...)

## 1. Volet végétalisation

Deux sites d'expérimentation ont été sélectionnés sur le territoire du Grand Lyon : le mur du Centre d'Echanges de Perrache et la toiture du Centre des Congrès de la Cité Internationale. L'objectif du volet Végétalisation d'ECCLAIRA était de réaliser des mesures sur ces deux sites.

Le mur végétalisé de Perrache qui a été retenu existe depuis 2007. Il a été installé par la société Canevaflor, qui en assure l'entretien. Le mur est composé de plantes vivaces, en majorité des plantes méditerranéennes choisies pour leur feuillage persistant. Afin de mieux appréhender l'interaction des composants végétalisés avec la thermique du bâtiment, l'équipe de chercheurs du LOCIE a installé des capteurs de température, d'humidité d'air et d'humidité dans le substrat, ainsi qu'une centrale météorologique avec des capteurs d'irradiation solaire. De nombreuses données sur le rayonnement solaire et les conditions climatiques sont ainsi collectées depuis l'été 2012 - pluviométrie, température de l'air, vitesse et direction du vent sont collectées en parallèle, et la récupération automatique des variables mesurées est réalisée toutes les dix minutes.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Drôme : Eau, CLimat et Impacts liés aux Changements

En guise de deuxième site, les équipes de recherche ont choisi d'expérimenter une toiture végétalisée du Centre des Congrès de Lyon, datant de 1995. L'étude porte sur une toiture de 282,49 m<sup>2</sup> orientée Sud-Ouest/Nord-Est. L'ensemble de la surface de la toiture végétalisée est planté de sedum. Le substrat repose sur un lit alvéolaire en forme de boîtes à œufs. Le laboratoire LOCIE, avec le soutien de la Chaire INSA/EDF « Habitats et Innovations Energétiques », a installé des capteurs de température et d'humidité, ainsi qu'une station météorologique sur le toit. Parallèlement, un modèle de simulation des transferts thermiques et de masse d'eau des murs végétaux a été développé. Ce modèle en 1D à éléments finis, confronté aux données réelles prend en compte les échanges d'eau et les transferts thermiques par convection, rayonnement et diffusion. Le LGCIE de l'INSA a quant à lui installé un dispositif expérimental permettant le suivi hydrologique. Lorsque qu'il pleut, l'eau arrive sur la toiture et le surplus d'eau est amené au niveau de deux avaloirs. Les eaux pluviales sont ensuite renvoyées via un système de canalisation vers le réseau d'eau pluvial séparatif. L'objectif de cette étude est de quantifier puis de modéliser la quantité d'eau absorbée par la toiture végétalisée, ainsi que la quantité d'eau restituée au réseau par rapport à la quantité d'eau reçue par la toiture. L'état biologique des peuplements végétaux a enfin été réalisé à partir d'observations essentiellement visuelles et de photographies prises aux diverses périodes de l'année.

# 2. Volet évolution et variabilité du climat

Sur le territoire du département de la Drôme, les variations climatiques ont été analysées à partir de données des cinquante dernières années, afin de mettre en évidence leur impact sur les ressources en eau actuelles et futures, celles-ci étant très fortement liées aux activités agricoles et touristiques. Un diagnostic climatique a été réalisé à partir des données multiscalaires émanant de sources diverses (Météo-France, indicateurs SAFRAN, projet GICC DRIAS, réanalyses atmosphériques, images satellitaires, données thématiques et socio-économiques). Cette étude ayant un objectif opérationnel avec, à terme, la préconisation de mesures concrètes d'adaptation au changement climatique, les savoirs scientifiques ont été confrontés aux pratiques locales existant dans le secteur d'étude. Les agriculteurs, les acteurs du tourisme, les gestionnaires du territoire drômois ont déjà mis en place des actions ponctuelles d'adaptation à des épisodes de sécheresse ou de forte chaleur. Ces acteurs locaux ont donc été sollicités par l'intermédiaire d'enquêtes et d'entretiens dans le cadre d'une approche sur la géo-gouvernance. Un recensement des mesures d'adaptation préconisées au niveau national voire international et des pratiques des différents acteurs de la Drôme a également été réalisé.

# 3. Guide « Climat : réussir le changement »

En région Rhône-Alpes, un Groupe de Réflexion et d'Actions sur l'Adaptation au Changement Climatique (GRAACC) existe depuis juin 2008. Ce groupe a pour objectif de sensibiliser les acteurs rhônalpins à la problématique de l'adaptation au changement climatique et d'échanger sur les bonnes pratiques en matière d'actions concrètes d'adaptation. Dans le cadre d'ECCLAIRA, les membres du GRAACC, élargi aux partenaires ECCLAIRA, ont décrit les besoins des acteurs pour entrer dans l'action et s'organiser sur les territoires. Un **comité de lecture** a été créé avec les membres de ce groupe souhaitant s'investir plus en avant dans la rédaction de ces guides. Le comité de lecture a d'abord fait un travail de mise en évidence des principales questions auxquelles le guide devait répondre et des principaux objectifs des deux volumes. Puis après une première écriture par RAEE, il a formulé des remarques qui

ont conduit à préciser la différence entre les deux volumes. Enfin, les premières maquettes des deux volumes lui ont été soumises pour faciliter la lecture. Les remarques ont permis de préciser la structure des volumes et de valider l'information qui y figurait. Un travail complémentaire a été fait à l'initiative de RAEE, pour rédiger un troisième volume du guide présentant des éléments de compréhension scientifique du changement climatique. Ce travail a associé de façon similaire les membres du Comité de lecture et a fait l'objet d'une validation scientifique.

#### C - Résultats

# 1. Volet végétalisation

A Perrache, le **comportement thermique** (tampon thermique) du substrat a été caractérisé expérimentalement et certains paramètres obtenus ont permis de renseigner le modèle numérique développé (inertie notamment). Il a été aussi mis en évidence que si en période chaude, la façade végétale jouait le rôle de bouclier thermique, cet effet est en revanche énergétiquement pénalisant en hiver, dans la mesure où il limite les apports solaires pour le bâtiment. Des analyses plus approfondies sont nécessaires pour identifier précisément cet impact sur le cadre bâti. Le traitement des données actuellement en cours permet de détecter les données défectueuses au sein des fichiers d'acquisition.

Concernant l'étude de l'impact thermique et énergétique des composants d'enveloppes végétales sur la toiture du Centre des Congrès, les développements nécessaires à cette analyse ne sont pas finalisés. Le nombre de données collectées est très important et nécessite le recours à des algorithmes statistiques de traitement des données. Les premiers traitements ont pu alimenter le modèle numérique qui permettra à terme de réaliser des études paramétriques devant guider la conception de tels composants d'enveloppe.

Sur la période de septembre 2012 à mai 2013, 163 événements pluvieux ont été enregistrés au pas de temps de 1 minute sur la toiture végétalisée, avec des hauteurs de pluie comprises entre 0.2 et 52.4 mm et des durées variant de 2 minutes à plus de 20 heures. Les données de débit correspondantes au pas de temps de 1 minute sont disponibles pour 160 de ces 163 événements. Le pourcentage de la hauteur précipitée interceptée par la toiture (stockage puis évaporation et évapotranspiration) est utilisé comme critère de mesure de la performance hydrologique de la toiture. On observe une variabilité importante des valeurs mensuelles de ce pourcentage entre 17 et 91 %. Sur l'ensemble de la période de mesure, le pourcentage global d'interception des précipitations par la toiture est de 40 %. Une analyse plus détaillée permet de déterminer la probabilité de stockage intégral des précipitations par la toiture en fonction de la hauteur précipitée. La probabilité est de 91 % pour les pluies inférieures à 2 mm, de l'ordre de 50 % pour les pluies comprises entre 2 et 6 mm, de l'ordre de 20 à 25 % pour les hauteurs comprises entre 6 et 16 mm, et de 0 % audelà de 16 mm. La capacité de stockage de la toiture dépend de la succession des événements pluvieux antérieurs et des conditions d'évaporation et d'évapotranspiration.

Les observations menées sur l'aspect « biologique » (suivi des peuplements végétaux), ont par ailleurs permis de constater que les racines se développaient sur toute l'épaisseur du substrat pour les murs végétalisés. Les photographies ont permis d'estimer le taux de recouvrement de la surface du mur par les feuilles avec un taux variant de 0,7 à 1,2 selon la saison (hiver ou été) pour les murs. Pour les toitures, les valeurs sont beaucoup plus

étendues et nous avons observé en 2011 un très faible taux de recouvrement (0,3 à 0,6) du fait des conditions climatiques. Ce taux est pris en compte dans la modélisation des transferts thermiques et hydriques. Bien que relativement simples, ces observations paraissent suffisantes pour estimer le rôle des végétaux dans les transferts de masse et chaleur par les structures végétalisées.

# 2. Volet évolution et variabilité du climat

Le diagnostic climatique a mis en évidence les principales variations du climat enregistrées par le département de la Drôme depuis 1948 (date de disponibilité des données météorologiques), les contrastes et particularités départementales. Ce diagnostic montre une augmentation des températures très significative ; les températures maximales étant les plus touchées. L'été est particulièrement sensible, les hautes altitudes sont surtout sensibles en hiver. On constate également une augmentation des précipitations d'automne et une diminution des précipitations d'hiver. Quant aux **projections climatiques régionales**, les principaux résultats à l'échelle de la Drôme indiquent une hausse attendue des températures moyennes annuelles à moyen terme (2021-2050) de +1,5 à 1,7°C par rapport à la normale 1961-1990, et de +2,5°C à 4,5°C sur le long terme (2071-2100).

Le travail d'enquête en lien avec l'ADTD (Agence de Développement Touristique de la Drôme) a permis d'établir un premier diagnostic des évolutions climatiques et de leurs liens avec les attentes des professionnels du milieu touristique. Les perceptions des acteurs du tourisme (hébergeurs, restaurateurs, institutionnels...) ont été étudiées en fonction des principales évolutions (tendance à la hausse des températures, allongement de la durée des périodes chaudes, diminution du manteau neigeux,...) ainsi que de leurs impacts et adaptations possibles sur les activités dans la Drôme. En parallèle, une étude a été menée sur l'influence de la variabilité climatique sur les arbres fruitiers et les plantes à parfum (lavande et lavandin) de la Drôme (facteurs limitants, phénologies, adaptations) ainsi que sur la dynamique des paysages agro-forestiers (exemple en forêt de Saoû). Les besoins d'informations des décideurs ont été mis en évidence et ont donné lieu à des échanges et rencontres entre le Conseil général et les équipes de recherche.

Enfin, une **série d'entretiens** avec des techniciens et experts départementaux a permis de mieux cerner les demandes et attentes liées aux problématiques de la perception du changement climatique, ainsi que des possibilités ou pistes déjà en cours d'adaptation.

# 3. Guide « Climat : réussir le changement »

Un guide en deux volumes a été réalisé. Le 1er volume s'attache à répondre aux principales questions que se posent les décideurs au moment d'engager leur réflexion sur l'adaptation aux effets du changement climatique au sein de leur collectivité ou sur leur territoire. Il donne à réagir pour agir. Il présente quelques points clés pour imaginer les principales étapes d'élaboration d'une stratégie d'adaptation aux effets du changement climatique. Le 2nd volume s'attache à répondre aux principales questions que se posent, les décideurs et leurs chargés de missions engagés dans l'élaboration de stratégies pour l'adaptation du territoire et de la collectivité aux effets du changement climatique. Il donne les clés pour comprendre la question climatique et organiser les étapes d'une démarche participative, visant à inciter les acteurs du territoire à contribuer par l'action.

Le premier volume du guide « CLIMAT : réussir le CHANGEMENT » a été imprimé à 800 exemplaires et le second à 250 exemplaires. Ces productions ont été diffusées dans le réseau du GRAACC et adressées sur demande. Elles seront prioritairement diffusées à l'issue de réunions de sensibilisation, aux participants élus et techniciens susceptibles d'engager une démarche sur leur territoire. Par ailleurs ces documents sont accessibles à tous sur Internet, téléchargeables aux adresses suivantes <a href="http://www.ddrhonealpesraee.org/">http://www.ddrhonealpesraee.org/</a> et <a href="http://www.raee.org/">http://www.raee.org/</a>. Une communication par mailing a largement informé de la publication de ces outils les élus et techniciens des collectivités territoriales de Rhône-Alpes, les membres de RAEE et de ses réseaux régionaux (GRAACC, CVTDS, Urbanisme et développement durable...).

De façon complémentaire, et à l'initiative de RAEE, un troisième volume du guide a été rédigé. Il fournit, sous forme de fiches, des éléments de compréhension scientifique du changement climatique. Il est donné en annexe du présent rapport et sera bientôt disponible sur les sites mentionnés ci-dessus.

### **D** - Conclusions et Perspectives

Si le découpage d'ECCLAIRA en trois volets a rendu la coordination complexe et n'a pas permis de réels échanges entre les différents acteurs, l'une des richesses de ce programme réside dans le suivi de la collaboration entre équipes de recherche et collectivités locales sur le thème de l'adaptation au changement climatique, et les enseignements qui en découlent.

La collaboration entre collectivités et chercheurs semble indispensable si l'on veut passer d'un concept de « changement climatique » relativement vague à des représentations concrètes, des chiffres, des graphes, des mesures que le territoire peut s'approprier, pour démontrer que le changement climatique existe bel et bien, et que des solutions éprouvées existent. La nécessité de travailler la communication, notamment à destination des élus et du grand public, est également importante : les mots, concepts, exemples doivent être représentatifs de la réalité locale et rassurants plutôt qu'anxiogènes.

Les travaux menés dans le cadre de ce projet ne s'arrêteront pas fin 2012 puisque les uns poursuivront leur travail de recherche, les autres le travail de sensibilisation et d'information, au-delà du projet.

Par ailleurs, l'ensemble des travaux menés dans le cadre du projet ECCLAIRA ont certainement contribué à la création de l'Observatoire Régional des Effets du Changement Climatique, qui a été officiellement lancé le 06 novembre 2013. Cet observatoire sera un lieu privilégié de collaboration entre équipes de recherche et collectivités locales sur le thème de l'adaptation au changement climatique.

#### II. Acquis en termes de transfert

La collaboration entre équipes de recherche et collectivités initiée dans le cadre d'ECCLAIRA est amenée à se poursuivre et à se développer au-delà du projet.

#### A. Végétalisation

Le projet a nécessité la mise en œuvre de **dispositifs expérimentaux originaux et autonomes**. Etant donné que les instrumentations sont réalisées en site réel impliquant de

l'eau, du vent, de la boue (substrat), il était alors nécessaire d'avoir un bon compromis entre robustesse et précisions des capteurs. Le premier dispositif a été mis en place sur le site de Perrache après une phase de tests réalisés en Savoie. Le matériel de mesure sélectionné a donné pleinement satisfaction par rapport aux critères mentionnés. Le dispositif a donc été dupliqué sur les deux sites (Perrache et Cité Internationale). L'instrumentation devrait rester en place jusqu'à l'été 2013.

La collaboration sur les deux sites instrumentés (Centre d'échanges de Perrache et Cité Internationale) entre le Grand Lyon et les laboratoires de recherche impliqués (LOCIE, LGCIE, Chaire INSA/EDF) se poursuivra au-delà d'ECCLAIRA et permettra de recueillir des données sur les 4 saisons afin d'approfondir les analyses et avoir une vision plus fine des impacts des toits et des murs végétalisés dans les zones urbaines sur l'atténuation des pics de chaleur et la régulation de l'eau. Grâce à ces expérimentations et à la modélisation rendue possible par la confrontation avec des données réelles, les maîtres d'ouvrage pourront bénéficier de règles de dimensionnement notamment pour une meilleure gestion des eaux pluviales.

Les espaces végétalisés de la Ville de Lyon représentent aujourd'hui 35 ha et d'autres projets sont en cours. La qualité de vue et de vie est mise en avant par la Ville de Lyon qui soutient la collaboration recherche/collectivité depuis plusieurs années tout comme le Grand Lyon. D'autres recherches ont notamment été menées en lien avec la société Canevaflor sur la capacité dépolluante des murs végétaux. L'ensemble de ces recherches sur la végétalisation en zone urbaine permet d'amplifier les connaissances de la collectivité et de la conduire à développer les murs et façades végétalisés pour répondre à de nombreux enjeux urbains liés au changement climatique.

#### B. Evolution et variabilité du climat dans la Drôme

Quant au partenariat engagé entre le Conseil général de la Drôme et les équipes de recherche de DECLIC, il **se poursuivra également après 2013**. Les différentes réunions techniques, tables rondes, « porter à connaissance » ont permis aux chercheurs de mieux cibler les besoins de la collectivité tout en ayant une connaissance plus fine du fonctionnement de cette dernière. Les résultats des expérimentations vont permettre une aide à la décision quant à la mise en place d'une stratégie d'adaptation au changement climatique sur le territoire. Plus généralement, les travaux de DECLIC se sont intégrés à des recherches plus générales portant sur l'interface hommes/milieux (impact du changement climatique et gestion de l'eau notamment). Ils ont également permis de nourrir les études sur la géo-gouvernance des territoires, le transfert de la connaissance entre acteurs du territoire, et notamment entre scientifiques, décideurs et société civile.

Au-delà de ces résultats, plusieurs suites possibles au projet DECLIC sont envisagées. La faisabilité d'une collaboration/mutualisation pourrait être explorée afin d'aller plus loin dans la prospection des impacts du changement climatique. Par exemple, le Conseil général et la Chambre d'agriculture pourraient organiser des enquêtes auprès des exploitants de lavande/lavandin, afin de créer une base de données fiable et complète. A ce stade, la communication et la diffusion du travail réalisé dans le cadre de DECLIC est nécessaire, pour rendre concret les impacts du changement climatique en cours, pour mieux s'y adapter et

aller plus loin dans l'information des élus, des techniciens et des partenaires. C'est l'objectif du projet de valorisation *V@ldrôme* (financé par le programme LabEx OSUG<sup>2</sup>@2020 de l'Université Joseph Fourier, et coordonné par le LTHE) qui a démarré fin 2012.

Engager une réflexion multisectorielle sur le modèle de développement souhaitable pour les espaces montagnards de la Drôme est également un axe important, afin de dégager les capacités de réorganisation du territoire et, par conséquent, la capacité de réponse des politiques publiques. Cela pourra passer par la réalisation d'un « porter à connaissance » (courant 2014) à destination des élus et des acteurs publics du département de la Drôme (forum de restitution et tables rondes) et portant sur la vulnérabilité départementale aux changements climatiques, ou encore la conception et diffusion d'une plaquette de vulgarisation scientifique à destination des principaux organismes départementaux intervenant dans les domaines du tourisme, de la ressource en eau et de l'agriculture. La conception et la mise en ligne d'un site web (declic.ujf-grenoble.fr) met désormais à disposition, l'ensemble des résultats et des données scientifiques obtenus par le programme GICC-DECLIC.

### C. Guide « Climat : réussir le changement »

La diffusion des deux volumes du guide permet de montrer l'implication des élus au niveau régional et contribue à la sensibilisation, l'information et le renforcement des capacités d'adaptation des collectivités locales, qu'elles aient ou non participé à ce projet. Ce guide élaboré dans le cadre d'ECCLAIRA fait partie d'une mallette d'outils à destination des collectivités, qui comprend par ailleurs le premier guide sur le changement climatique publié par Rhônalpénergie-Environnement en 2007, ainsi que des fiches d'explications scientifiques. Une bibliographie documentée d'outils ressources est également prévue et d'autres documents pourraient venir la compléter en fonction des besoins d'informations et d'outils méthodologiques des collectivités.

Le GRAACC va poursuivre ses travaux afin de maintenir une veille sur l'actualité du changement climatique et sur les besoins des différents acteurs rhônalpins. Ces différentes actions contribueront à préparer le territoire à s'adapter pas à pas au changement climatique en accompagnant les élus et les services techniques dans la définition et la mise en place de stratégies d'adaptation au changement climatique.

L'ensemble des résultats obtenus dans le cadre du projet seront par ailleurs valorisés au sein de l'ORECC (Observatoire Régional des Effets du Changement Climatique).

# D. Analyse du lien collectivités/chercheurs

La nécessité d'une collaboration entre collectivités et chercheurs sur le sujet de l'adaptation au changement climatique est confirmée par les trois volets du projet ECCLAIRA. D'un côté, les collectivités ont besoin de disposer de messages simples sur le changement climatique, basés sur des faits concrets, mesurés et validés scientifiquement, au niveau de leur territoire. De l'autre, les centres de recherche ont besoin de terrains d'expérimentation pour

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Observatoire des sciences de l'Univers de Grenoble

valider une partie de leurs recherches, et gagnent à travailler en situation réelle, sur des besoins exprimés localement.

De plus, l'adaptation au changement climatique est un sujet **multidimensionnel**, qui touche diverses thématiques, à la fois climatiques, mais aussi environnementales (eau, biodiversité, risques naturels) et socio-économiques (santé, agriculture, élevage, foresterie, tourisme, industrie...). Cela nécessite donc des compétences multiples, qui doivent travailler ensemble de manière **transversale**. Cela devra être davantage pris en compte dans les modes d'organisation des collectivités et des laboratoires de recherche, dont les responsabilités sont aujourd'hui encore trop segmentées.

Enfin, il ne faut pas oublier d'inclure dans ces partenariats les laboratoires de recherche en sciences sociales, qui peuvent aider à la réflexion autour de « l'adaptabilité » du territoire, avec comme objectif notamment la construction d'un discours non anxiogène, d'un modèle économique crédible et d'un argumentaire socio-économique.

#### III. LISTE DES PRINCIPALES VALORISATIONS DES RECHERCHES

- Articles scientifiques publiés, sous presse, soumis et en préparation.
  - Rome S., Bigot S., Dubus N. et Pochelon I., 2010. Variabilité pluri-décennale du climat de la Drôme : présentation du projet GICC-ECCLAIRA-DECLIC (2010-2012). Publications de l'Association Internationale de Climatologie, 23, 523-528.
  - Rome S., Bigot S., Dubus N. et Anquetin S., 2010. Climate Change impacts in the Drôme department (southeastern France): the GICC-DECLIC Project (2010-2012). *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 12, SRef-ID: 4037-1.
  - Leroy E., Rome S. et Bigot S., 2012. Variabilité spatio-temporelle de la température de l'air (1950-2009) dans le département de la Drôme (région Rhône-Alpes, France).
    Publications de l'Association Internationale de Climatologie, 25, 469-474.
  - Philippe F., Bigot S. et Rome S., 2012. Le changement climatique à l'échelle de la Drôme : analyse et évaluation des projections climatiques issues du programme SCAMPEI. *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, 25, 607-612.
  - Tritz C., Schiavone S., Rome S., Bigot S., David L. et Pochelon I., 2012. Perception du changement climatique par les professionnels du tourisme : exemple dans le département de la Drôme (France). *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, 25, 745-750.
  - Tritz C., Bigot S., Rome S., David L., Pochelon I. et Schiavone S., 2012 : Perception du changement climatique et de ses impacts sur les activités touristiques : exemple d'une enquête exploratoire dans le département de la Drôme (sud-est de la France). Géo-Regards, 5, 111-125.
  - Lavorel S., Spiegelberger T., Mauz I., Bigot S., Granjou C., Dobremez L., Nettier B., Thuiller W., Brun J.-J. et Cozic P., 2012. Coupled long-term dynamics of climate, land use, ecosystems and ecosystem services in the Central French Alps. Part III in 'Long Term Socio-ecological Research Studies in Society: Nature Interactions Across Spatial and Temporal Scales', Singh S.J. et al. (Eds.), Springer Coll., 1st Edition, 385 pages.

- Rome S., Bigot S., Louis S., 2013 : Analyse de la variabilité bioclimatique des forêts du Vercors (Préalpes françaises du Nord) à partir des données NDVI de SPOT-VGT (1998-2009). Télédétection, sous presse.
- Rome S., Li S. et Bigot S., 2013 : Les extrêmes thermiques dans les Préalpes françaises : évolutions présentes (1961-90) et futures (de 2021 à 2100). *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, 26, 446-451.
- Bigot S., Rome S. et Raymond F., 2013 : Etude de la variabilité thermique récente (1960-2012) et prévue à moyen terme (2021-2050) à l'échelle des hauts plateaux du Vercors (Préalpes françaises). *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, 26, 99-104.

Concernant la toiture végétalisée, compte tenu du fait que les résultats finaux n'ont été obtenus qu'à l'automne 2013, les publications scientifiques correspondantes du LGCIE n'ont pas été possibles au cours du projet : elles seront rédigées au 1<sup>er</sup> semestre 2014.

- Articles de vulgarisation publiés, sous presse, soumis et en préparation.
  - ◆ 5éme journée Technique de l'OTHU (Observatoire de Terrain en Hydrologie Urbaine): Toitures végétalisées : quelques éléments sur la recherche en cours Jean-Luc Bertrand-Krajewski, INSA de Lyon (LGCIE) JT OTHU Article végétalisation <a href="http://www.graie.org/othu/pdfothu/JTOTHU5-ACTES-9fev12web6.pdf">http://www.graie.org/othu/pdfothu/JTOTHU5-ACTES-9fev12web6.pdf</a>, février 2012
  - Dossier publié dans le magazine d'information municipale 'Le Grand Ardéchois', décembre 2012 : Changement climatique : ça va chauffer. Dossier coordonné par N. Dubus, 8 pages.
  - Synthèse publié dans la revue départementale 'Les Epines Drômoises', avril 2013 : Le changement climatique à l'échelle de la Drôme. Article coordonné par Sandra Rome, FRAPNA Drôme, N° 172 ('Printemps 2013, et ensuite ?'), 30-31.
- Participations aux colloques nationaux ou internationaux (communication orale et poster).

 Rome S., Bigot S., Dubus N. et Anquetin S., 2010. Climate Change impacts in the Drôme department (southeastern France): the GICC-DECLIC Project (2010-2012). European Geosciences Union - General Assembly 2010 (April, Vienna) - (1 poster présenté).

 Rothschild E., Beltrando G. et Bigot S., 2011. Analysis of snow cover variability over the Vercors mountains (French Prealps) using MODIS/Terra snow-cover products. European Geosciences Union - General Assembly 2011 (April, Vienna) - (1 poster présenté).

11

- Bigot S. et Boncompain J., 2010. Suivi de l'enneigement grâce à l'imagerie MODIS (2000-2010) : application à l'échelle des massifs de moyenne montagne en Drôme et Isère. XII<sup>ème</sup> Journées Scientifiques du Réseau 'Télédétection' de l'Agence Universitaire de la Francophonie (AUF), 23-25 novembre, Monastir, Tunisie.
- ◆ 24<sup>ème</sup> colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Rovereto (Italie), 6-10 septembre 2011 (*1 poster présenté en lien avec DECLIC*).
- ◆ 25<sup>ème</sup> colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Grenoble (France), 5-7 septembre 2012 (*3 posters présentés en lien avec DECLIC*).
- ◆ 26<sup>ème</sup> colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Cotonou (Bénin), 3-7 septembre 2013 (*2 posters présentés en lien avec DECLIC*).
- Bigot S., Fortin G., Raymond F., Rome S. et Dumas D., 2013: Recent (1960-2012) and future (2021-2050) major temperature variations in middle mountain areas: comparison between Vercors (Rhône-Alpes, France) and Gaspe Peninsula (Quebec, Canada). Canadian Association of Geographers (CAG), Saint-Johns, session 'Climatology: Time-series analysis, variability and trends', communication orale et proceedings (pp 78-79).
- Rome S., Li S. et Bigot S., 2013: Comparison between current thermal extremes (on 1970s) and future (on 2030s and 2080s) in the Northern French Prealps. Canadian Association of Geographers (CAG), Saint-Johns, session 'Climatology: Time-series analysis, variability and trends', communication orale et proceedings (pp 203-204).
- Dumas D., Fortin G., Rome S., Bigot S. et Raymond F., 2013: Recent snow depths in mountain areas: comparison between the Northern French Alps (France) and the Gaspésie peninsula (Canada). Canadian Association of Geographers (CAG), Saint-Johns, session 'Climatology: Time-series analysis, variability and trends', communication orale et proceedings (p 112).
- Rapports de fin d'étude (mémoires de master, de DEA, thèses...).

Rapports de projet de fin d'étude en Spécialité ingénieur : Energie-Bâtiment-Environnement et du master Ecotechnologie :

- ◆ 2012 : Kévin Guinchard, Flavien Rousset Suivi et modélisation des transferts de masse et de chaleur de parois actives végétalisées (mur). Application au cas du mur végétal du parking de la gare Lyon Perrache
- ◆ 2011 : Thomas Gauthier, Frédéric Jacquet, Pierre Pelloie: Murs végétalisés, Modélisation et instrumentation.
- ◆ 2010 : Alexandre Maigne, Lorenzo Bressan; Murs végétalisés, état de l'art et modélisation de l'évapotranspiration
- Lorène BILLON, 2010. L'impact du changement climatique sur le confort climatique de sites touristiques : le cas du département de la Drôme, mémoire de master 2 STDDAD, LTHE, Université Joseph Fourier Grenoble 1, 54 p.

- Jérôme BONCOMPAIN, 2010. Atlas de l'enneigement hivernal à l'échelle Drôme-Isère grâce à l'imagerie MODIS (2000-2010), mémoire de master 2 réalisé au LTHE, Université de Saint-Etienne, 72 p.
- Eve LEROY, 2011. Bilan des variations climatiques récentes (1950-2009) dans le département de la Drôme, mémoire de master 2 STDDAD, LTHE, Université Joseph Fourier Grenoble 1, 69 p.
- Camille GIRAULT, 2011. Evolution de la couverture nivale dans la moyenne montagne drômoise : quels constats et quelles implications sur le tourisme hivernal ?, mémoire de master 2 STDDAD, LTHE, Université Joseph Fourier Grenoble 1, 95 p.
- Julien TORRE, 2011.Les mesures d'adaptation au changement climatique dans le domaine de la gestion de l'eau - inventaire et outil d'aide à la décision pour le département de la Drôme, mémoire de master 2 STDDAD, ESPACE, Université Joseph Fourier – Grenoble 1, 66 p.
- Valérian GEFFROY, 2011. Milieux naturels, activités touristiques, changements climatiques: étude exploratoire en Vercors-Drôme, mémoire de master 2 STDDAD réalisé à PACTE, ENS Lyon, 115 p.
- Maxime BUTAUD, 2011. Etude des relations entre les précipitations et le débit des cours d'eau dans le département de la Drôme entre 1958 et 2010, rapport de stage de master 1 HydroSciences, Université Montpellier 1, 53 p.
- Sophie SCHIAVONE, 2011. Mise en place d'une enquête sur les représentations du changement climatique et ses impacts pour les professionnels du tourisme dans la Drôme, rapport de licence 3, LTHE, Université Joseph Fourier Grenoble 1, 38 pages.
- Maxime BUTAUD, 2012. Détermination de la variabilité des pluies efficaces dans le département de la Drôme : conséquences hydrométriques potentielles, mémoire de master 2 STADE, LTHE, Université Joseph Fourier – Grenoble 1, 88 p.
- Sandrine DHENAIN, 2012. Des représentations du changement climatique aux stratégies locales d'adaptation : le cas du département de la Drôme, mémoire de master 2 STADE, ESPACE, Université Joseph Fourier – Grenoble 1, 74 p.
- Sophie SCHIAVONE, 2012. Le tourisme face au changement climatique Perceptions des évolutions et stratégies d'adaptation, rapport de master 1 STADE, PACTE, Université Joseph Fourier – Grenoble 1, 21 p.
- Shan LI, 2012. Adaptation des cultures fruitières de la Drôme aux exigences phénoclimatiques, rapport de master 1 STADE, LTHE, Université Joseph Fourier – Grenoble 1, 68 p.
- Amandine LONG, 2012. Adaptation des cultures fruitières de la Drôme aux exigences phéno-climatiques, rapport de master 1 STADE, LTHE, Université Joseph Fourier – Grenoble 1, 46 p.
- Pauline MOREL, 2012. Relation entre température, manteau neigeux et phénologie végétale : essai de suivi in situ dans le Vercors, rapport de master 1 STADE, LTHE, Université Joseph Fourier – Grenoble 1, 56 p.
- Félix PHILIPPE, 2012. Le changement climatique à l'échelle de la Drôme Analyse et évaluation des projections climatiques issues du programme SCAMPEI, rapport de master 1 STADE, LTHE, Université Joseph Fourier Grenoble 1, 56 p.

- Laure CIPRIANI, 2012. La dynamique des paysages agro-forestiers sur le synclinal perché de Saoû (Drôme), dans le contexte du changement climatique, mémoire de master 2 STADE, PACTE, Université Joseph Fourier – Grenoble 1, 74 p.
- Florian RAYMOND, 2012. Influence de la variabilité climatique sur la lavande et le lavandin de la Drôme : facteurs limitants et phénologies en lien avec le climat, rapport de master 1 STADE, LTHE, Université Joseph Fourier Grenoble 1, 54 p.
- Aurélien MOURGUES, 2012. Influence de la variabilité climatique sur la lavande et le lavandin de la Drôme : facteurs limitants et phénologies en lien avec le climat, rapport de master 1 STADE, LTHE, Université Joseph Fourier Grenoble 1, 49 p.
- Clément CORTIAL, 2012. Le tourisme et l'évolution de l'équipement touristique face aux changements climatiques : Le cas du département de la Drôme, mémoire de master 2 STADE, PACTE, Université de Saint-Etienne, 29 p.

# RAPPORT SCIENTIFIQUE

# **PROJET ECCLAIRA**

EVALUATION DU CHANGEMENT CLIMATIQUE, SES ADAPTATIONS ET IMPACTS EN RHONE-ALPES PARTENARIAT OPERATIONNEL ENTRE EQUIPES DE RECHERCHE ET COLLECTIVITES TERRITORIALES

ASSESSMENT OF CLIMATE CHANGE, ITS IMPACTS AND ADAPTATIONS IN THE RHONE-ALPES OPERATIONAL PARTNERSHIP BETWEEN RESEARCH TEAMS AND LOCAL AUTHORITIES

Programme Gestion et Impact des Changements Climatiques

# Rapport de fin de contrat

Structure porteuse: Rhônalpénergie-Environnement, 10 rue des Archers – 69002 LYON

Contact: Pierrick YALAMAS, coordonnateur du projet de recherche,

pierrick.yalamas@raee.org

Date: 13/01/2013

N° de contrat : Convention G. G.8.000 6652 RAEE

# Autres partenaires:

- Convention G. G.8.000 6649 Université Joseph Fourier LTHE, Sylvain BIGOT, sylvain.bigot@ujf-grenoble.fr
- Convention G. G.8.000 6650 Université de Savoie LOCIE, Gérard MERLIN, gerard.merlin@univ-savoie.fr
- Convention G. G.8.000 6651 INSAVALOR Jean-Luc BERTRAND-KRAJEWSKI, <u>jean-luc.bertrand-krajewski@insa-lyon.fr</u>

# Contenu

1. Rappel des objectifs	3
2. Déroulement du projet et matériels utilisés	4
2.1 Mise en place de terrains d'expérimentation	4
2.2 Diffusion de la connaissance : guide à destination des collectivités	16
2.3 Analyse du lien collectivités/chercheurs	17
3. Résultats des recherches	18
3.1 Mise en place de terrains d'expérimentations	18
3.2 Diffusion de la connaissance : guide à destination des collectivités	48
3.3 Analyse du lien collectivités/chercheurs	49
4. Discussion	53
5. Conclusion	55
Liste des sigles utilisés dans ce rapport	58
Table des illustrations	59

# 1. Rappel des objectifs

L'incertitude scientifique liée à l'ampleur et aux conséquences du changement climatique tend à limiter la mise en place des stratégies d'adaptation. Il est pourtant aujourd'hui nécessaire de s'adapter pour les territoires, et cela passe par l'identification de mesures concrètes à mettre en place localement. Pour cela, les collectivités territoriales ont besoin, à la fois, d'éléments de compréhension du changement climatique, mais aussi d'éléments de réponse.

Dans ce contexte, la mise en place de partenariats entre équipes de recherche et collectivités semble particulièrement pertinente, en permettant aux uns de bénéficier de terrains d'expérimentation, et ainsi d'avancer plus rapidement dans leur recherche, et aux autres, de mieux comprendre la problématique de l'adaptation sur leur territoire et de renforcer leur capacité à s'adapter.

Le projet ECCLAIRA avait comme objectifs, non seulement de mieux sensibiliser les acteurs du territoire, de créer des liens entre la recherche et les décideurs, et par conséquent de faire avancer et de mutualiser la connaissance sur l'adaptation au changement climatique en région Rhône-Alpes, mais aussi d'apporter des premiers éléments de réponse concrets visibles sur le terrain.

Ainsi, par le biais d'un partenariat opérationnel entre les collectivités territoriales et les équipes de recherche, les **actions menées dans le cadre du projet ECCLAIRA** se sont structurées autour de deux démarches : la mise en place de deux initiatives expérimentales d'une part, et l'édition d'un guide destiné aux élus et agents des collectivités territoriales d'autre part.

Au-delà des résultats concrets du projet qui sont présentés dans ce rapport, le projet ECCLAIRA a également donné lieu à une analyse des partenariats entre collectivités et chercheurs dans le cadre de la mise en place de politiques publiques d'adaptation au changement climatique. Cette réflexion avait pour objectif d'identifier les conditions de réussite, mais aussi les freins et difficultés rencontrées par ce type de collaboration, en s'intéressant aux partenariats opérationnels mis en place spécifiquement dans le cadre du projet ECCLAIRA.

L'objectif de ce rapport est de présenter tous ces éléments et réflexions issus du projet. Il est le fruit d'un travail collaboratif entre les différentes équipes qui ont participé à ECCLAIRA.

# 2. Déroulement du projet et matériels utilisés

#### 2.1 MISE EN PLACE DE TERRAINS D'EXPERIMENTATION

Pour illustrer concrètement la problématique de l'adaptation au changement climatique, et tester le lien partenarial entre collectivités territoriales et centres de recherche, deux expérimentations ont été mises en place dans le cadre du projet.

La première expérimentation a consisté à étudier les impacts des toits et murs végétalisés dans les zones urbaines sous deux angles : l'atténuation des pics de chaleur et la régulation de l'eau. La deuxième s'intéressait à la ressource en eau en moyenne montagne dans le département de la Drôme, et plus particulièrement aux impacts du changement climatique sur la gestion de la ressource en eau (actuelle et future), ainsi que sur les secteurs touristique et agricole en moyenne montagne.

Ces actions ont pris la forme de partenariats opérationnels entre collectivités territoriales (la Ville de Lyon et le Grand Lyon d'une part, et le Département de la Drôme d'autre part) et équipes de recherche de la région Rhône-Alpes.

# 1ère expérimentation : Végétalisation

# **Contexte**

L'utilisation de murs ou toitures végétalisés sur les bâtiments est souvent mentionnée dans la littérature sur le changement climatique, comme l'une des actions d'adaptation permettant de réguler les pics de chaleur urbains. En effet, plus le territoire d'une zone est densément urbanisé, plus ce territoire stocke dans ses bâtiments l'énergie solaire, qu'il restitue sous forme de chaleur. Les pics de température, souvent localisés, sont alors conséquents, surtout en période estivale, et l'inconfort thermique largement ressenti par la population. Ce phénomène constitue l'une des préoccupations principales liées au réchauffement climatique des grandes villes de Rhône-Alpes, comme Lyon ou Grenoble.

L'un des moyens de lutter contre les pics de chaleur est d'augmenter la part de la surface urbaine recouverte par la végétation. Mais trouver de nouvelles surfaces à végétaliser dans ces villes à forte densité urbaine est difficile. La végétalisation des murs et des toitures constitue alors une piste intéressante, que beaucoup de villes explorent.

L'effet bénéfique des murs et toitures végétalisées a été relativement peu évalué en termes scientifiques (comme le montre l'état de l'art fait par RAEE au début du projet ECCLAIRA), et les aspects techniques concernant la thermique, la régulation hygrothermique et l'amortissement acoustique auxquels contribuent ces structures très peu étudiés jusqu'à ce jour. En particulier, aucun modèle n'a été proposé pour décrire et prédire l'impact d'un mur végétalisé sur la régulation thermique d'un bâtiment via les échanges mur (média)-végétation-atmosphère.

Ainsi, lors de la parution de l'appel à projets GICC en 2008, la Direction des Espaces Verts de la Ville de Lyon a souhaité faire progresser les connaissances dans le domaine de la végétalisation des bâtiments urbains. De même l'intérêt des centres de recherche de la région Rhône-Alpes a été manifeste. En effet, cette thématique s'inscrit dans le cadre de différents sujets de recherche. C'est notamment le cas du Laboratoire d'Optimisation de la

Conception et d'Ingénierie de l'Environnement (LOCIE - UMR CNRS 5271/Université de Savoie), pour ses activités liées à la thématique « Système bâtiment et Intégration solaire » et du Laboratoire de Génie Civil et d'Ingénierie Environnementale (LGCIE) de l'INSA de Lyon, sur les questions relatives aux transferts d'eau et polluants et de gestion durable des eaux urbaines.

# Acteurs impliqués

La particularité de cette expérimentation a été de faire intervenir plusieurs acteurs du côté des collectivités, mais aussi plusieurs centres de recherche.

Les partenaires de ce projet étaient les suivants :

- La Ville de Lyon qui a fixé les objectifs initiaux de l'expérimentation pour les deux types de sites;
- Le Grand Lyon pour la mise à disposition des deux sites retenus : mur végétal de l'échangeur de Lyon-Perrache et toit végétalisé du Centre des Congrès de Lyon ;
- Le Laboratoire de Génie Civil et d'Ingénierie Environnementale (LGCIE) de l'Institut National des Sciences Appliquées (INSA – Université Claude Bernard) de Lyon pour les études d'hydrologie urbaine sur le toit végétalisé;
- Le Laboratoire d'Optimisation de la Conception et d'Ingénierie de l'Environnement (LOCIE Université de Savoie) pour les études thermiques du toit et du mur, ainsi que la modélisation de l'expérimentation ;
- La société Canevaflor qui a réalisé l'installation du mur végétal en 2007 et fourni l'assistance pour la mise en place des capteurs.

Pour finir, sur les aspects liés à la modélisation des composants d'enveloppe végétalisée, quatre élèves ingénieurs de Polytech Annecy-Chambéry, ainsi qu'un Master recherche sont intervenus sur le projet. Un stagiaire de l'Université de Gènes (Italie) a aussi contribué aux premiers tests d'acquisition des données avant implantation sur site.

#### Sites sélectionnés

Deux sites d'expérimentation ont été sélectionnés sur le territoire du Grand Lyon en accord avec les services de la Ville de Lyon et du Grand Lyon : le mur du Centre d'Echanges de Perrache et la toiture du Centre des Congrès de la Cité Internationale.



**Photo 1 :** Façade végétale avec substrat instrumenté (Lyon



Photo 2 : Station météo et toiture végétale

Un troisième site a été sélectionné pour calibrer et valider le modèle de transferts thermiques : murs végétaux de la cafétéria KFC dans le centre commercial Chamnord (Savoie) (photo 3).



Photo 3: Mur végétal en façade nord à Chamnord (Bissy, 73)

# **Objectifs**

Les expérimentations menées sur ces sites ont pour objectif d'évaluer, d'une part l'impact des toitures et murs végétalisées sur les pics de chaleur urbains, et d'autre part, l'impact des toits végétalisés sur la gestion de la ressource en eau.

La **Ville de Lyon** cherche en effet à disposer de données fiables permettant de cerner les intérêts précis de telles actions d'adaptation et de valider scientifiquement leurs impacts bénéfiques face au principal impact du changement climatique en milieu urbain : les pics de chaleur.

Ainsi, deux axes prioritaires de recherche ont été analysés : l'atténuation des pics de chaleur et la régulation hydraulique. Deux laboratoires ont participé à l'expérimentation, tous deux ayant des objectifs propres.

Le **LOCIE** de l'Université de Savoie structure ses recherches suivant deux thèmes : *Systèmes Energétiques Innovants* et *Système bâtiment et Intégration solaire*. L'objectif du LOCIE, à travers ses travaux de recherche, est d'apporter des connaissances sur les structures végétalisées extérieures au bâtiment concernant :

- les conditions thermiques du bâtiment (période chaude mais aussi période froide),
- l'atténuation des extrêmes climatiques (chaleurs estivales...),
- l'esthétique, l'acoustique et la thermique à l'échelle d'un quartier.

La problématique de l'impact des murs et toitures végétalisées est souvent abordée de manière simpliste en se basant uniquement sur des extrapolations de capacités d'évapotranspiration des plantes. Les répercussions de la présence des murs végétalisés (végétaux et substrat) sur l'inertie thermique, la transmission thermique des parois, mais aussi du péri-bâti, doivent être expérimentées en situations réelles par des mesures précises

permettant une traduction en termes d'économies d'énergie. C'est en cela que le projet ECCLAIRA apportait une contribution par rapport aux objectifs globaux du LOCIE.

Par ailleurs, le titulaire de la **Chaire INSA/EDF « Habitats et Innovations Energétiques »** était chercheur au LOCIE lors du lancement du projet de recherche et a ensuite souhaité continuer à s'investir sur les développements réalisés. Ainsi, la Chaire INSA/EDF a également contribué aux actions de mesures identifiées dans le cadre d'ECCLAIRA, pour leur intérêt scientifique et pour la complémentarité avec les actions de la chaire sur les composants d'enveloppe innovants.

Enfin, le laboratoire **LGCIE** de l'INSA travaille depuis de longues années sur la gestion des eaux pluviales urbaines, notamment sur les questions relatives aux transferts d'eau et de polluants et de gestion durable des eaux urbaines. L'objet toiture végétalisée faisait partie des développements envisagés dans le cadre de leurs actions de recherche depuis la fin des années 2000. Le projet ECCLAIRA s'inscrivait donc dans les objectifs de recherche du LGCIE, en cohérence avec d'autres actions de recherche (projet européen FP7 PREPARED sur l'adaptation au changement climatique des hydrosystèmes urbains, projet OTHU, Plan Campus sur la Doua, etc.). L'objectif initial du LGCIE était l'instrumentation et le suivi d'une toiture végétalisée en termes hydrologiques et thermiques (en partenariat avec le LOCIE), incluant des mesures de pluie, débit, stockage de l'eau, évaporation, vent, température sur une année complète. En lien avec d'autres actions de recherche menées au laboratoire, le LGCIE a proposé, en complément au projet ECCLAIRA, un volet de modélisation de la toiture instrumentée, afin de pouvoir généraliser et étendre les résultats obtenus sur une toiture et une seule année.

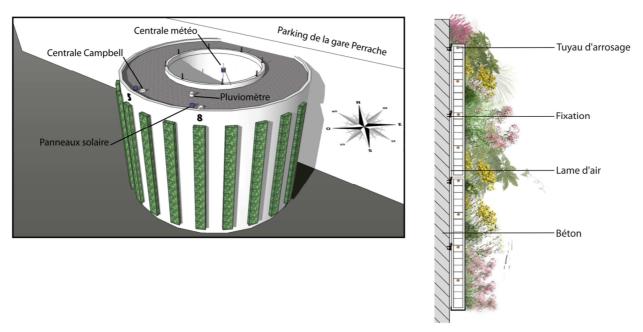
# Descriptif des expérimentations (matériels et méthodes)

Les actions menées dans le cadre du volet Végétalisation d'ECCLAIRA devaient permettre de **réaliser des mesures sur des toits et murs végétalisés existants**. Il s'agissait donc d'abord de trouver des terrains d'expérimentation adaptés à l'instrumentation, puis de poser les capteurs et équipements nécessaires à la collecte des données scientifiques. Les expérimentations ont été réalisées sur des installations lyonnaises existantes, en centre-ville et dans la zone commerciale de Chamnord en périphérie urbaine de Chambéry.

# Mur végétalisé de Lyon-Perrache

Le mur végétalisé de Perrache qui a été retenu, existe depuis 2007. Il a été installé par la société Canevaflor, qui en assure l'entretien. Le mur est composé de plantes vivaces, en majorité des plantes méditerranéennes choisies pour leur feuillage persistant.

Afin de mieux appréhender l'interaction des composants végétalisés avec la thermique du bâtiment, l'équipe de chercheurs du LOCIE a installé, dans le cadre du projet ECCLAIRA, des capteurs de température, d'humidité d'air et d'humidité dans le substrat, ainsi qu'une centrale météorologique avec des capteurs d'irradiation solaire.



**Figures 1 et 2:** Instrumentation du Centre d'échanges de Perrache (source LOCIE) et coupe du mur végétalisé de Perrache (source LOCIE)

De nombreuses données sur le rayonnement solaire et les conditions climatiques sont ainsi collectées depuis l'été 2012 - pluviométrie, température de l'air, vitesse et direction du vent sont collectées en parallèle, et la récupération automatique des variables mesurées est réalisée toutes les dix minutes.

# Mur végétalisé du restaurant KFC à Chamnord

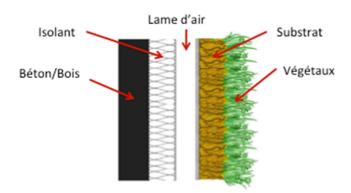


Figure 3 : Coupe transversale des murs végétaux de KFC.

Ces murs végétaux réalisés en 2009 sont assez proches dans leur conception de ceux de Perrache avec comme différences la présence d'un isolant entre la lame d'air et la structure en béton (figure 3) et aussi le fait que la lame d'air est protégée des vents extérieurs.

## Toiture végétalisée du Centre des Congrès de Lyon

Comme troisième site, et en accord avec le Grand Lyon, les équipes de recherche ont choisi d'expérimenter une toiture végétalisée du Centre des Congrès de Lyon, datant de 1995.

L'étude porte sur une toiture de 282,49 m² (photo 3). Cette toiture est orientée Sud-Ouest/Nord-Est.

L'ensemble de la surface de la toiture végétalisée est planté de sedum qui se développe sur une épaisseur de substrat comprise entre 40 et 140 mm. Le substrat repose sur un lit alvéolaire en forme de boîtes à œufs d'une épaisseur de 50 mm (schéma 1).

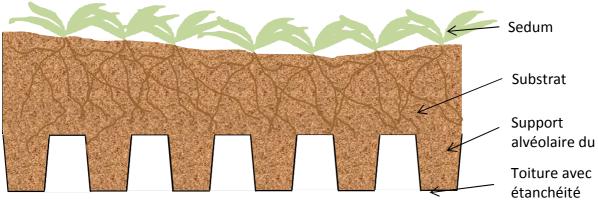


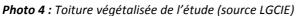
Schéma 1: Coupe de la toiture végétalisée étudiée (source LGCIE)

Le laboratoire LOCIE, avec le soutien de la Chaire INSA/EDF « Habitats et Innovations Energétiques », a installé des capteurs de température et d'humidité, ainsi qu'une station météorologique sur le toit. Parallèlement, un modèle de simulation des transferts thermiques et de masse d'eau des murs végétaux a été développé. Ce modèle en 1D à éléments finis, confronté aux données réelles prend en compte les échanges d'eau et les transferts thermiques par convection, rayonnement et diffusion.

Le LGCIE de l'INSA a, quant à lui, installé un dispositif expérimental permettant le suivi hydrologique. Lorsque qu'il pleut, l'eau arrive sur la toiture et le surplus d'eau est amené au niveau de deux avaloirs répartis sur la moitié Ouest de la surface de la toiture végétalisée. Les eaux pluviales sont ensuite renvoyées via un système de canalisation vers le réseau d'eau pluvial séparatif. L'objectif de cette étude est de quantifier la quantité d'eau absorbée par la toiture végétalisée, ainsi que la quantité d'eau restituée au réseau par rapport à la quantité d'eau reçue par la toiture.

L'intensité des pluies est mesurée via un pluviographe à augets Précis Mécanique (photo 4) où chaque basculement d'auget correspond à 0,2 mm d'eau par m². Les basculements sont transmis à une centrale d'acquisition autonome et sont horodatés à la seconde. Ces données permettent de calculer l'intensité de la pluie ainsi que la quantité d'eau que la toiture a reçue.







**Photo 5 :** Pluviographe à augets (source LGCIE)

De plus, afin d'obtenir des informations concernant la restitution de l'eau en surplus de la toiture vers le réseau, deux canalisations qui collectent ce surplus ont été modifiées. Ces dernières sont situées dans un local technique sous la toiture. Sur ces conduites sont mesurés le débit d'eau lors d'une pluie ainsi que le retard entre le début de la pluie et la restitution au réseau. Les canalisations sont équipées de débitmètres électromagnétiques, qui nécessitent le maintien en charge de la canalisation où est effectuée la mesure (photo 5). Une diminution du diamètre de la canalisation originale a été nécessaire, de 160 mm à 25 mm. Cette réduction était nécessaire afin de mesurer les débits correspondant aux pluies estimés entre 0,5 et 2,5 litres/seconde. Cette modification est accompagnée d'une mise en sécurité en amont du système de mise en charge du débitmètre par la réalisation d'un shunt permettant de pallier au risque de mise en charge de l'ensemble de la toiture.





Photos 6 et 6 : Systèmes 1 et 2 de mise en charge pour débitmètre électromagnétique (source LGCIE)

Puis sur chaque tronçon modifié ont été installés des débitmètres électromagnétiques Krohne Optiflux 2000 permettant une mesure de débit jusqu'à 5.5 L/s. Chaque débitmètre transmet les informations de débit via un signal 4-20 mA à une centrale d'acquisition autonome. Les centrales d'acquisition des débitmètres électromagnétiques collectent les données par pas de temps de 1 minute.

A partir des données collectées sur une année hydrologique complète, un **bilan du fonctionnement hydrologique** de la toiture doit être réalisé. Les données hydrologiques obtenues seront corrélées avec les données du LOCIE. Dans une étape ultérieure, et en complément du projet ECCLAIRA, une **modélisation de son fonctionnement** sera effectuée. Ce travail complémentaire de modélisation, compte tenu des retards importants d'instrumentation de la toiture, a dû être repoussé : il sera effectué de décembre 2013 à mars 2014.

# Déroulement du projet

La mise en place du projet a suivi les étapes suivantes :

- Conception générale du dispositif de mesure,
- Recherche d'un toit/mur végétalisé à instrumenter,
- Définition précise des équipements de mesure pour le site,
- Commande puis mise en place des équipements de mesure sur site,
- Essais préliminaires et tests de fonctionnement des équipements (août sept 2012),
- Acquisition des données et maintenance sur 12 mois (sept 2012 août 2013),
- Analyse critique et validation des données,
- Interprétation des données et analyse du fonctionnement de la toiture pour différentes conditions météorologiques,
- Modélisation du fonctionnement hydrologique de la toiture,
- Rédaction d'un rapport final de recherche (septembre 2013).

En termes de calendrier, plusieurs impondérables sont venus ralentir le lancement du projet.

La principale difficulté a été le **choix des sites à instrumenter**. Le choix de la toiture n'avait pas été fait avant le démarrage du projet, et celui du mur végétal (qui devait appartenir à la Ville de Lyon), ne convenait pas en termes de cahier des charges pour pouvoir mener les études scientifiques souhaitées. Ainsi, un temps important a été consacré à la recherche d'une toiture « instrumentable » appartenant à la Ville de Lyon, sans pouvoir aboutir. Ce sont finalement deux bâtiments appartenant au Grand Lyon qui ont été retenus comme sites d'étude pour la toiture et la façade végétalisée, et la Ville de Lyon, qui avait pourtant été à l'initiative du projet d'expérimentation, s'est retrouvée en retrait dans le programme.

Le projet s'est ensuite heurté à des **difficultés administratives** : la signature multipartenaire de la convention d'accès au site, le respect des contraintes de sécurité du site, puis la mise en place effective des instruments de mesure ont ralenti fortement le projet. Par ailleurs, la difficulté d'équiper une toiture existante non prévue pour une expérimentation est apparue flagrante : accessibilité, nombreux points de vidange nécessitant de multiplier les capteurs et

donc les investissements... Il aurait été plus facile d'équiper une nouvelle toiture au moment de sa construction.

Le projet a ainsi pris beaucoup de **retard par rapport aux délais prévus, de l'ordre d'un an et demi**. La mise en place de l'instrumentation a ainsi été réalisée à l'automne 2011 au lieu du printemps 2009 et s'est terminée mi 2012, ce qui fait que les premiers résultats des recherches scientifiques ne peuvent être présentés que fin 2013 (une année complète de mesures est nécessaire). Les publications scientifiques correspondantes seront donc rédigées au 1<sup>er</sup> semestre 2014 après une analyse approfondie des données.

Enfin, concernant le monitoring des éléments de façade à Perrache, il a fallu, afin de bénéficier de la nacelle nécessaire à l'installation de capteurs (nacelle appartenant à Canevaflor qui l'utilise pour ses opérations de maintenance), combiner les interventions d'instrumentation du site avec celles pour l'entretien des végétaux. Cela a été contraignant, étant donné le nombre limité d'interventions de maintenance prévues sur une année.

## 2ème expérimentation : « DECLIC »

#### **Contexte**

Les politiques d'adaptation au changement climatique ont pour principal objectif de réduire la vulnérabilité des territoires aux conséquences du changement climatique, à la fois sur les plans environnementaux, mais aussi sanitaires et socio-économiques. Or, réduire la vulnérabilité d'un territoire implique de connaître quels sont les impacts du changement climatique sur ce territoire.

Lorsque l'on s'intéresse à l'analyse de ces impacts, force est de constater que la problématique est particulièrement complexe : les perturbations se traduisent par une évolution de certains paramètres (températures et précipitations principalement) qui se répercutent sur la fréquence, l'intensité et la répartition géographique des aléas naturels (tempêtes, sécheresses, inondations, vagues de chaleur, etc.), mais aussi sur la disponibilité des ressources naturelles (l'eau, les sols, la faune et la flore...) puis, par effet domino, sur les l'homme et ses activités (santé, agriculture, tourisme, industrie...).

La connaissance de ces effets, ainsi que la sensibilité du territoire à ces effets et sa capacité à y répondre, est indispensable afin de déterminer les mesures d'adaptation à mettre en place par les collectivités, sous forme de plans d'actions.

Ainsi, l'équipe de chercheurs en charge du programme « DECLIC », deuxième terrain d'expérimentation financé en partie par le projet ECCLAIRA, avait été sollicitée dès 2007 par le Conseil général de la Drôme, qui désirait intégrer la thématique de l'adaptation au changement climatique dans son Agenda 21.

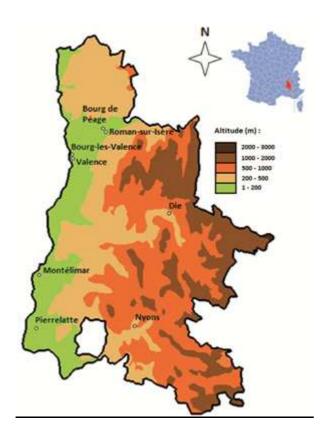
Cherchant à développer cette collaboration dans un cadre clairement défini, l'équipe de recherche a accueilli positivement la proposition de collaboration de Rhônalpénergie-Environnement (RAEE), en 2008, suite à l'appel à projets GICC, qui a permis de réunir les conditions programmatiques pour cet échange entre chercheurs et la collectivité.

#### <u>Acteurs impliqués</u>

• Le Conseil général de la Drôme qui a apporté un soutien institutionnel au projet et fait le lien avec le programme DECLIC;

- Le Laboratoire d'études des Transferts en Hydrologie et Environnement (LTHE CNRS-IRD-INPG, UMR5564, Grenoble) qui travaille sur les traitements géostatistiques, la télédétection et la thématique de la climatologie ;
- Le Laboratoire PACTE-Territoires (CNRS UMR 5194, Grenoble) qui prend en charge les questions concernant l'environnement et la foresterie, le tourisme, le paysage et le développement durable;
- Le Laboratoire ESPACE (CNRS, UMR 6012, Nice) qui s'occupe de l'approche statistique sur le thème de l'environnement et se charge de la réflexion sur les outils d'aide à la décision.
- 19 stagiaires de master et deux ingénieurs en CDD ont également apporté leur contribution au projet DECLIC/ECCLAIRA.

# Sites sélectionnés



Le Conseil général de la Drôme, face à la sensibilité de son territoire à la disponibilité de la ressource en eau d'une part, et à la fragilité de ses zones de moyenne montagne d'autre part (Diois et Vercors), a orienté le projet DECLIC/ECCLAIRA vers l'étude des impacts changement climatique sur la ressource en eau et sur ses activités touristiques, forestières agricoles, notamment moyenne montagne.

**Figure 3 :** Carte de relief du département de la Drôme (source Conseil général de la Drôme)

# **Objectifs**

### Pour la collectivité

L'aboutissement du projet devait être la mise en place de propositions d'adaptation au changement climatique adéquates pour le département de la Drôme, sous forme par exemple d'un « livre blanc » opérationnel sur les impacts du changement climatique et les stratégies d'adaptation, à destination des décideurs et acteurs du territoire drômois.

Trois questions clés structurent la réflexion de la collectivité :

- Est-ce que le changement climatique est déjà perceptible sur le territoire ? Et si oui, fournir une démonstration scientifique de ces impacts.
- Comment va-t-il évoluer ?
- Comment le territoire va-t-il pouvoir s'adapter ?

Enfin, le Conseil général de la Drôme a souhaité, dans le cadre du projet DECLIC/ECCLAIRA, ajouter un objectif éducatif, sous forme de financement de stages relatifs au sujet.

#### Pour les centres de recherche

La motivation première était de pouvoir apporter des compléments utiles aux travaux de recherche déjà en cours sur la variabilité climatique régionale, ses impacts potentiels et les dynamiques sylvo-pastorales associées, afin de passer de phases théoriques et diagnostiques, à d'autres plus participatives et appliquées. Cette collaboration a paru également intéressante car elle permettait de renforcer et compléter les échanges scientifiques et opérationnels déjà existant avec d'autres collectivités, comme le Parc Naturel Régional du Vercors ou le Conseil général de l'Isère. Elle donnait aussi l'opportunité de travailler en lien direct avec une collectivité territoriale afin de répondre à un besoin en information, en confrontant directement la recherche à son utilité sociale.

L'objectif principal était d'aller vers une recherche-action, en lien avec les demandes émanant de la collectivité. Cela nécessitait donc de confronter une approche scientifique déterministe à une attente concrète émanant d'acteurs publics. L'objectif secondaire était aussi de renforcer l'approche pluridisciplinaire des laboratoires de recherche impliqués autour de la question du climat et d'apporter un diagnostic scientifique permettant de concrétiser certaines applications utiles pour la collectivité. Enfin, il s'agissait également de favoriser les rencontres et interactions entre les différents interlocuteurs régionaux réunis autour de la question climatique, en faisant émerger les besoins en information des acteurs du territoire, notamment les élus, afin de créer des ponts entre chercheurs et décideurs.

# Descriptif de l'expérimentation (matériels et méthodes)

Sur le territoire du département de la Drôme, les variations climatiques ont été analysées à partir de données disponibles (depuis 1948), afin de mettre en évidence leur impact sur les ressources en eau actuelles et futures, celles-ci étant très fortement liées aux activités agricoles et touristiques.

Un diagnostic climatique a été réalisé à partir des données multiscalaires émanant de sources diverses : Météo-France, indicateurs SAFRAN, projet GICC DRIAS, réanalyses atmosphériques, images satellitaires, données thématiques et socio-économiques. Cette étude ayant un objectif opérationnel avec, à terme, la préconisation de mesures concrètes d'adaptation au changement climatique, les savoirs scientifiques ont été confrontés aux pratiques locales existant dans le secteur d'étude.

Les agriculteurs, les acteurs du tourisme, les gestionnaires du territoire drômois ont déjà mis en place, de façon plus ou moins informelle, des actions ponctuelles d'adaptation à des épisodes de sécheresse ou de forte chaleur. Ces acteurs locaux ont donc été sollicités par l'intermédiaire d'enquêtes et d'entretiens dans le cadre d'une approche sur la géogouvernance.

Un recensement des mesures d'adaptation préconisées au niveau national voire international et des pratiques des différents acteurs de la Drôme a également été réalisé.

### <u>Déroulement du projet</u>

Les différentes phases du projet DECLIC peuvent être résumées de la manière suivante :

- Délimitation des thèmes d'étude du sujet et des chercheurs impliqués/coordonnant les différentes thématiques ;
- Phase de collecte et validation des données (données géophysiques, construction et lancement d'enquêtes), puis analyse des données récoltées ;
- Propositions et financements de stages pour des étudiants de master (stages financés par DECLIC et par le Conseil général de la Drôme), avec co-encadrement entre des enseignants-chercheurs de l'Université Joseph Fourier et des techniciens du Conseil général de la Drôme ou des organismes partenaires;
- Présentations régulières des résultats obtenus (en interne entre chercheurs, mais aussi par le biais de comités techniques auprès de la collectivité);
- Proposition de porter à connaissance des résultats aux élus locaux (phase en suspens car n'ayant pas reçu actuellement la validation politique du Conseil général de la Drôme);
- Valorisation et diffusion des résultats, par l'élaboration de plaquettes de vulgarisation à destination des élus et des techniciens du département, mais aussi plus largement des collectivités ainsi qu'à terme, des citoyens.

Le partenariat recherche/collectivité a été mis en place de façon concertée, en recherchant les thèmes phares à développer et avec un partage total des informations disponibles sur le programme. Le déroulement de DECLIC s'est appuyé sur des réunions régulières (trimestrielles) entre scientifiques et la collectivité (par exemple au travers des comités techniques, même si tous n'ont pu être mis en place au début du projet, et ponctuellement à cause de la surcharge des agendas des services techniques et des élus du Conseil général de la Drôme).

Le contexte général du volet DECLIC a également été présenté aux délégués des directions départementales de la Drôme (Valence, printemps 2010), puis certains résultats ont été présentés aux élus (commission organique de février 2012 à Valence), ainsi que lors des comités techniques de mai 2012 (à Grenoble) et juin 2012 (à Valence). Plusieurs autres réunions ont par ailleurs eu lieu entre 2010 et 2012, de manière plus ponctuelle (17ème Conférence départementale de l'Environnement au CG38, Réunion scientifique de la Zone Atelier Alpes du CNRS, Conseil Scientifique du Parc Naturel Régional du Vercors), car réunissant des acteurs spécifiques de certains axes du volet DECLIC (interactions entre les services techniques, étudiants stagiaires et leurs maîtres de stage...).

En termes de calendrier, **le projet a pris du retard** dès son lancement. En effet, la réponse tardive du GICC, qui est intervenue en 2009, soit un an après le dépôt de candidature, a nécessité une réappropriation du projet par l'équipe collectivité/chercheurs. Il a fallu réintégrer le projet dans le plan de charge de chaque structure, ce qui a pris du temps,

d'autant que les acteurs n'étaient pas forcément disponibles à ce moment-là. De ce fait, le projet n'a pu réellement démarrer que début 2010. Il se terminera donc en 2013.

Les équipes ont également dû faire face à des **difficultés administratives** importantes, notamment dans la mise en place des conventions de stage entre les différentes parties impliquées, puisque c'est le principal modèle de lien entre collectivité et chercheurs qui a été appliqué dans le cadre de DECLIC.

Une autre difficulté, non triviale d'un point de vue scientifique, a été l'accès compliqué à certaines séries géophysiques et environnementales nécessaires pour des analyses hydro-, bio- ou agro-climatiques : soit l'accès est resté impossible durant tout le projet, soit l'accès est resté limité et tardif (compliquant ensuite les calendriers prévisionnels, notamment si ces travaux étaient prévus dans le cadre de travaux de recherche d'étudiants de master). Certaines séries et données (par exemple agro-climatiques) semblent tout simplement ne pas exister à l'échelle départementale. Ces freins pratiques ont donc conduit à la limitation ou à la réorientation de certaines analyses envisagées initialement.

#### 2.2 DIFFUSION DE LA CONNAISSANCE : GUIDE A DESTINATION DES COLLECTIVITES

En parallèle à ces expérimentations, et afin d'aider les décideurs à prendre en compte la problématique de l'adaptation au changement climatique, le projet ECCLAIRA comportait un troisième volet lié à la diffusion de la connaissance qui intégrait la rédaction d'un guide à destination des collectivités et d'une quinzaine de fiches présentant des bonnes pratiques.

# **Objectifs**

Le parti pris de cette publication était, sans rechercher l'exhaustivité, d'apporter aux acteurs des territoires (et en particulier les élus et techniciens des collectivités), des repères et des outils pour partager la connaissance entre les acteurs et leur implication dans les projets territoriaux et renforcer ainsi la capacité d'adaptation de leur territoire.

Cette démarche a été menée avec trois objectifs distincts :

- Permettre la sensibilisation des élus à la problématique de l'adaptation au changement climatique ;
- Fournir une liste détaillée d'opérations exemplaires en matière d'adaptation;
- Etablir une méthodologie pour la mise en place des stratégies d'adaptation sur des territoires.

# Acteurs impliqués

En région Rhône-Alpes, un Groupe de Réflexion et d'Actions sur l'Adaptation au Changement Climatique (GRAACC) existe depuis juin 2008. Animé par RAEE, ce groupe a pour objectif de sensibiliser les acteurs rhônalpins à la problématique de l'adaptation au changement climatique et d'échanger sur les bonnes pratiques en matière d'actions concrètes d'adaptation. Au total, une quarantaine de représentants de la recherche, de collectivités territoriales, de l'agriculture, de l'environnement ou d'associations font partie du GRAACC.

Dans le cadre d'ECCLAIRA, les membres du GRAACC, élargi aux partenaires d'ECCLAIRA, ont décrit les besoins des acteurs pour entrer dans l'action et s'organiser sur les territoires. Un **comité de lecture** a été créé avec les membres de ce groupe souhaitant s'investir plus en

avant dans la rédaction de ces guides. De nombreux échanges ont eu lieu au sein de ce comité et des personnes extérieures ont été sollicitées sur des points spécifiques afin d'apporter des compléments techniques et des témoignages.

Le comité de lecture ainsi formé sur le volontariat a réuni beaucoup d'acteurs institutionnels et associatifs, mais aussi trois **collectivités** d'échelle différente (la Communauté de communes sur le canton de Saint Symphorien de Lay, le Conseil général de l'Isère et le Conseil régional de Rhône-Alpes) et des **chercheurs** (deux universitaires de l'Institut d'urbanisme de Lyon et de l'Université de Savoie, le Centre d'Études sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques (CERTU), et une structure émanant de la recherche : le pôle alpin des risques naturels). Les autres participants peuvent être qualifiés de **structures expertes** sur des domaines divers (risques majeurs, facteurs humains, gestion de l'eau, météorologie...).

Les représentants de ces structures ont participé au même titre que les autres structures aux débats et à la relecture des documents. Seuls l'invitation par mél aux comités de lecture et l'inscription des personnes à la liste des remerciements ont permis de formaliser le travail en commun. Certains, comme le CERTU, aussi partenaire financier du projet, ont plus fortement contribué à ces travaux. Une convention de partenariat a formalisé l'engagement du CERTU au financement des travaux au même titre que les autres partenaires financiers que sont l'ADEME, l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse et le GICC.

Enfin, la **DREAL Rhône-Alpes** a joué un rôle important dans la mise à disposition de données régionales et la mise en relation avec l'Agence de l'eau.

#### <u>Déroulement du projet</u>

Le comité de lecture a d'abord fait un travail de mise en évidence des principales questions auxquelles le guide devait répondre. Il est très vite apparu qu'il était plus pertinent pour l'ensemble des acteurs de mettre à disposition deux volumes différents du guide, le premier étant plutôt à destination des élus et le second plutôt à destination des techniciens des collectivités) et d'intégrer les fiches de bonnes pratiques dans ces documents. Puis après une première écriture par RAEE, il a formulé des remarques qui ont conduit à préciser la différence entre les deux volumes. Enfin, les premières maquettes des deux volumes lui ont été soumises pour faciliter la lecture. Les remarques ont permis de préciser la structure des volumes et de valider l'information qui y figurait.

Le travail en comité de lecture a été un lieu important pour une mutualisation et une montée en compétence des interlocuteurs sur le sujet. Ce partage d'expérience, de point de vue, de réflexion, autour de l'ouvrage a permis de s'accorder sur des éléments de méthodes.

Les travaux de préparation du projet de Schéma Régional Climat-Air-Énergie (SRCAE) de Rhône-Alpes ont été également grandement exploités.

# 2.3 Analyse du lien collectivites/chercheurs

Enfin, RAEE s'est attaché, en fin de projet, à collecter le retour d'expérience des différents acteurs, en particulier sur la relation vécue entre collectivités et chercheurs. L'objectif de cette démarche était de mettre en évidence les clés du succès de ce type de partenariats, ainsi que les écueils et pièges à éviter, sur base des difficultés rencontrées tout au long du projet.

Pour mener à bien cette tâche, de juin à décembre 2012, RAEE a sollicité les acteurs des territoires et des centres de recherche de plusieurs manières. Une **enquête en ligne** a d'abord été envoyée aux membres du projet afin de recueillir leurs premières impressions et affiner une série de questions-clés, destinées à un **questionnaire** devant permettre de collecter le ressenti et les retours d'expérience des acteurs.

Ce questionnaire a été établi début novembre 2012 et envoyé par mél aux participants du projet. Il comportait les questions suivantes :

- Comment ECCLAIRA s'est intégré dans vos travaux de recherche ou la politique générale de votre collectivité ?
- Pour quelles raisons avez-vous souhaité participer au projet ECCLAIRA ? Quelles étaient vos motivations ? Quels étaient vos objectifs initiaux concernant ECCLAIRA ?
- Quelle a été l'organisation retenue pour le projet ? Avez-vous mis en place une "structure projet" (comité de suivi, comité de pilotage, comité scientifique) ? Pour les collectivités : avez-vous pu impliquer les élus dans ce projet ? De quelle façon ?
- Pour les équipes de recherche : quel processus de validation scientifique des résultats produits avez-vous mis en place ?
- Comment le partenariat recherche/collectivité a-t-il été construit ?
- Comment avez-vous structuré le travail de recherche ? quelles étaient les différentes phases du projet ?
- Avez-vous eu besoin de faire appel à des partenaires extérieurs au projet ? Si oui, lesquels et dans quel objectif ?
- Quelles ont été les difficultés rencontrées? Quels ont été les points positifs et négatifs de la relation collectivité/chercheur? Que changeriez-vous si c'était à refaire?

En complément, une réunion du GRAAC a été organisée le 20 novembre avec comme thème un **débat sur le lien entre collectivités et chercheurs**<sup>3</sup>. Cette réunion a permis d'enrichir la réflexion menée sur le sujet.

# 3. Résultats des recherches

## **3.1 MISE EN PLACE DE TERRAINS D'EXPERIMENTATIONS**

#### 1ère expérimentation : Végétalisation

En raison des différents aléas liés à l'identification des sites d'expérimentation et aux contraintes administratives, l'acquisition des données a débuté seulement fin juillet 2012. Pour valider les travaux scientifiques, une campagne de mesure d'une année complète est nécessaire. Les équipements de mesure ont donc fonctionné jusqu'en août 2013, alors que

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Programme de la réunion disponible sur <a href="http://raee.org/envoimassif/CC/GRAACC">http://raee.org/envoimassif/CC/GRAACC</a> OJ 20.11.12.pdf

le projet ECCLAIRA se terminait théoriquement fin 2012. L'analyse finale des données obtenues, ainsi que les résultats et modèles obtenus, ne peuvent donc pas être présentés de manière exhaustive dans ce rapport. Ils seront disponibles auprès des organisations de recherche associés sous forme de rapports scientifiques fin 2013. Cependant, certains éléments préfigurant les résultats finaux peuvent être d'ores et déjà fournis.

Sur le site du Centre d'échanges de Perrache, le **comportement thermique** (tampon thermique) du substrat a été caractérisé expérimentalement et certains paramètres obtenus ont permis de renseigner le modèle numérique développé (inertie notamment). Il a été aussi mis en évidence que si en période chaude, la façade végétale jouait le rôle de bouclier thermique, cet effet est en revanche énergétiquement pénalisant en hiver, dans la mesure où il limite les apports solaires pour le bâtiment. Ceci a été observé par exemple sur le site de KFC (Figure 4).

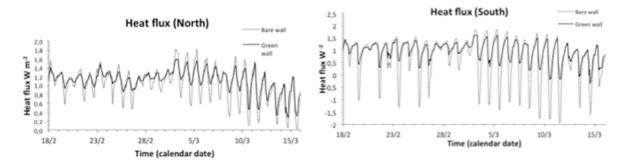


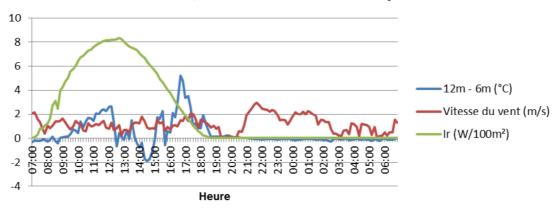
Figure 4 : Evolution des transferts thermiques des murs végétaux du site de KFC Mur Nord : Sans végétaux : déperdition calorifique ; avec végétaux : déperditions et déphasage Mur Sud : Sans végétaux : apports solaires forte amplitude ; avec végétaux : perte de l'apport solaire

Les mesures effectuées dans des conditions naturelles ont montré qu'une épaisseur de 20 cm de végétation réduisait de 50 % les variations de température des murs en été. En végétalisant deux façades (Sud et Est) d'un bâtiment, on pourrait espérer réduire de 5°C la température intérieure ce qui conduirait à une diminution de 50 à 70 % de l'énergie nécessaire pour la climatisation. Cette capacité est liée à la fois à l'ombrage et à l'évapotranspiration des plantes.

En revanche, l'impact des composants d'enveloppe en hiver semble, au regard des résultats obtenus, plus pénalisant vis-à-vis de l'énergétique du bâtiment. En effet, les éléments de parois, en présence de substrat (figure 5), font écran aux apports solaires lorsqu'ils sont orientés au sud, ce qui a tendance à pénaliser le bilan énergétique de la paroi, en fonction de la teneur en eau du substrat.

A titre d'illustration, la figure 5 représente l'évolution de la vitesse du vent, du rayonnement global et de l'écart des températures apparaissant à différentes hauteurs pour une journée type.

# Irradiation, vent et écart de température



**Figure 5 :** Evolution de la vitesse du vent, du rayonnement global et de l'écart des températures apparaissant à différentes hauteurs (sondes à 6 et 12 mètres) pour une journée type (source LOCIE)

# Modélisation des structures végétalisées

La modélisation des structures végétalisées a été réalisée avec un modèle des transferts en 1 D à éléments finis. Un exemple de la structure du modèle est donné en figure 6 pour le mur végétal de KFC.

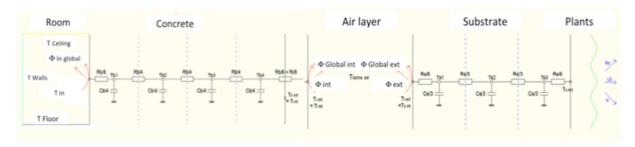


Figure 6 : Structure du modèle du mur végétalisé de KFC

L'originalité du modèle réside essentiellement sur la partie végétale du mur avec une modélisation basée sur le bilan énergétique pour les transferts hydriques et thermiques des végétaux (évapotranspiration) inspirée du modèle big-leaf ou on assimile la végétalisation à une seule feuille (Figure 7).

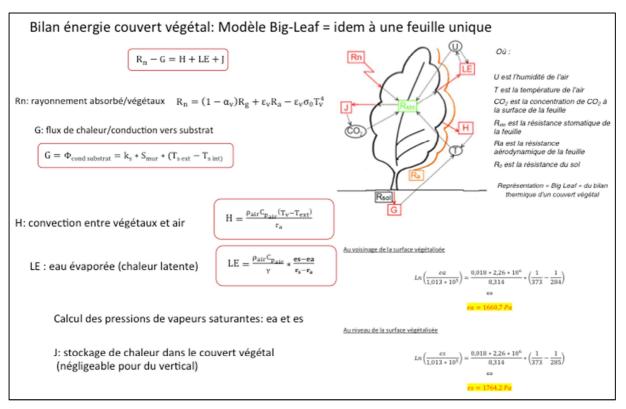


Figure 7 : Conception de la modélisation du couvert végétal

Ce modèle permet par simulation de constater que l'hiver il y a un flux thermique défavorable pour l'habitat alors qu'au contraire en été il est favorable :

	Flux thermique horaire moyen en hiver	Flux thermique horaire moyen en été
Avec un mur végétalisé	7,587	1,604
Sans mur végétalisé	6,686	2,925
Gain	-13,48 %	45,17 %

Ce modèle a été réalisé avec le logiciel EES qui permet de l'adapter à diverses situations en pouvant modifier les principaux paramètres (Figure 8).

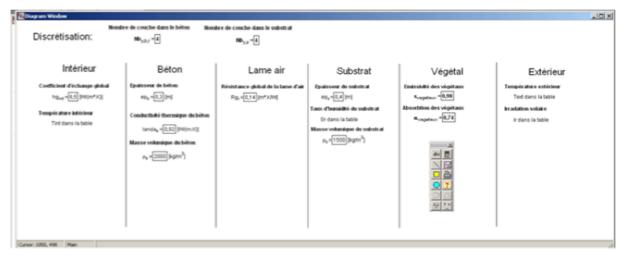
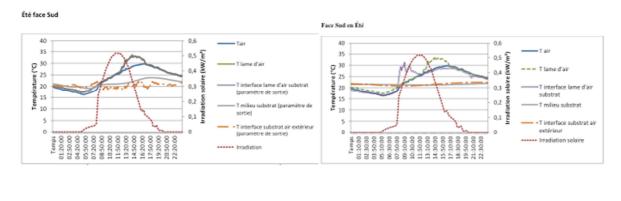


Figure 8 : Interface sous EES du modèle 1D pour les murs végétaux

Les comparaisons des simulations pour le site de Perrache montrent que globalement le modèle 1D permet de simuler correctement les transferts à l'exception des températures à l'interface substrat/air extérieur (Figure 9).



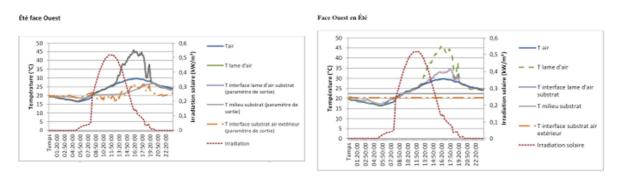


Figure 9 : Comparaisons entre les comportements thermiques observés et simulés pour le site de Perrache en période estivale

Concernant l'étude de l'impact thermique et énergétique des composants d'enveloppes végétales de la toiture du Centre des Congrès, les développements nécessaires à cette analyse ne sont pas finalisés. Le nombre de données collectées est très important et nécessite le recours à des algorithmes statistiques de traitement des données. Les premiers traitements ont pu alimenter le modèle numérique qui permettra à terme de réaliser des études paramétriques devant guider la conception de tels composants d'enveloppe.

Concernant l'étude hydrologique de la toiture végétalisée du Centre des Congrès, les données collectées et calculées correspondent à une année, de septembre 2012 à août 2013.

Lors de cette année de mesure, le pourcentage de données collectées et validées par les équipements LGCIE (débitmètres mesurant le débit provenant de la toiture et pluviographe à augets pour la mesure de la pluie arrivant sur la toiture) correspondent à 80.4 % pour les débits et 73.8 % pour la mesure de la pluie. Finalement, les données disponibles et validées couvrent la période de septembre 2012 à mai 2013. Les causes de données manquantes ou non valides (essentiellement à partir de juin 2013) sont les suivantes (voir Figure 10) : installation retardée et problèmes techniques sur le pluviographe, saturation de la mémoire des débitmètres (liée aux périodes de congés des personnels techniques en charge des expérimentations (visite hebdomadaire sur site) ; à titre de rappel, une télétransmission des données avait été envisagée, mais les surcoûts d'instrumentation et d'installation des débitmètres sur la toiture existante ont conduit à l'abandon de cette possibilité qui aurait évité les pertes de données par saturation des mémoires).

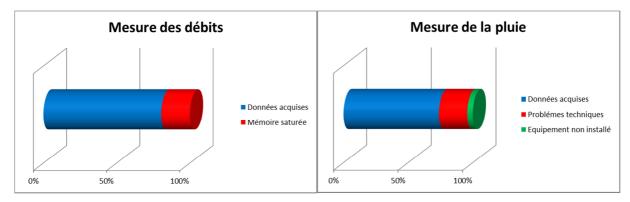


Figure 10 : Taux de disponibilité des données de débit et de pluviométrie (appareils LGCIE) de septembre 2012 à août 2013. Les débits sont mesurés au pas de temps de 1 minute et les intensités de pluie sont calculées au pas de temps de 1 minute à partir des basculements horodatés des augets.

Sur la même période de septembre 2012 à août 2013, les données de la station météorologique et des capteurs d'humidité de la toiture (équipements gérés par le LOCIE) représentent des taux de données disponibles et validées de 27.1 % et de 19.4 % respectivement. La mise en correspondance des données hydrologiques LGCIE (pluie et débit) et des données LOCIE n'a donc pas été possible, sauf sur de très courtes périodes.

Sur l'ensemble de la période, nous avons mesuré 163 événements pluvieux avec des hauteurs de pluie comprises entre 0.2 et 52.4 mm. La distribution des événements pluvieux mesurés est représentée en termes de durée et de hauteur précipitée en Figure 11. La distribution des hauteurs précipitées est donnée Figure 12. Près de 50 % des événements correspondent à des hauteurs précipitées inférieures à 1 mm. Seuls 27 % des événements présentent une hauteur supérieure à 3 mm. Les durées des événements (Figure 13) varient

de 2 min (non significatif) à 20.75 heures. Environ 50 % des événements ont une durée inférieure à 2 heures.

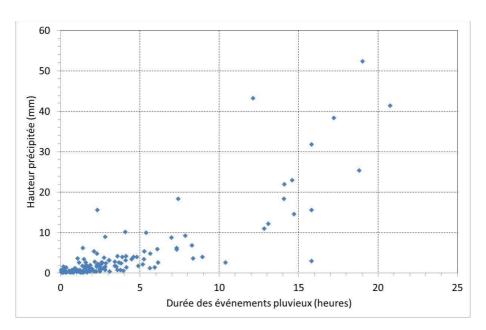


Figure 11 : Représentation des 163 événements pluvieux enregistrés sur la toiture végétalisée.

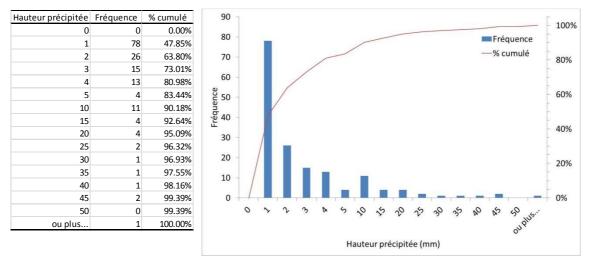


Figure 12 : Distribution et histogramme des hauteurs précipitées.

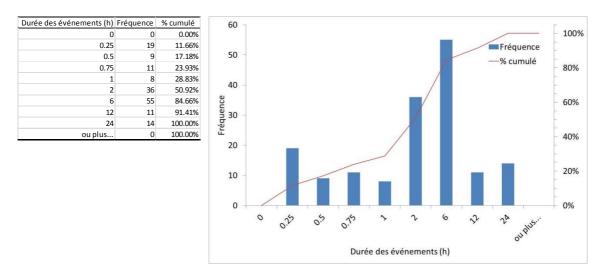


Figure 13 : Distribution et histogramme des durées des événements pluvieux.

Les données permettent d'analyser, au pas de temps d'une minute, la réponse de la toiture aux événements pluvieux. La description et l'analyse complètes des résultats dépassent le cadre de ce rapport. Nous proposons donc ici deux niveaux de présentation des résultats : i) une présentation des données en continu sur un mois (avril 2013) qui montre quelques particularités intéressantes et une comparaison avec le mois de novembre 2012, ii) une analyse synthétique du fonctionnement de la toiture sur la totalité de la période.

#### Evénements pluvieux du mois d'avril 2013

Les résultats présentés Figure 14 correspondent aux données du pluviographe et du débitmètre situé sur l'avaloir le plus central. En effet, la conduite située en bordure de toiture ne collecte qu'un goutte à goutte non mesurable par notre équipement de mesure.

On constate que la totalité des événements pluvieux mesurés par le pluviographe ne sont pas restitués au réseau (ou que la part restituée est non mesurable). En effet, lors de petites pluies, la quantité d'eau reçue par la toiture est inférieure à la capacité de rétention de la toiture au moment où la précipitation se produit. Il y a donc stockage intégral de la hauteur précipitée puis évaporation et évapotranspiration du volume stocké.

Nous avons estimé en première approche la capacité de rétention de la toiture à environ 20 L/m². Connaissant la surface de la toiture, on peut estimer qu'elle est capable de retenir un volume total d'environ 5650 litres, ce qui correspond à une pluie de 20 mm.

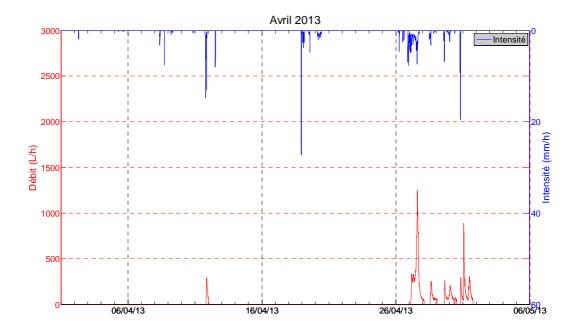


Figure 14 : Débit (L/h) mesuré par le débitmètre et intensité des pluies (mm/h) mesurée par le pluviographe du 1<sup>er</sup> avril au 30 avril 2013.

La Figure 15 présente les mêmes données que la Figure 14 mais sous forme de volumes cumulés reçu par la toiture et évacué vers les débitmètres. On constate clairement l'écart entre les cumuls, la différence étant stockée dans la toiture. Sur le mois d'avril 2013, les volumes cumulés reçu et restitué sont respectivement de 26 m³ et de 12 m³. La toiture a donc stocké 14 m³, soit 54 % du volume précipité.

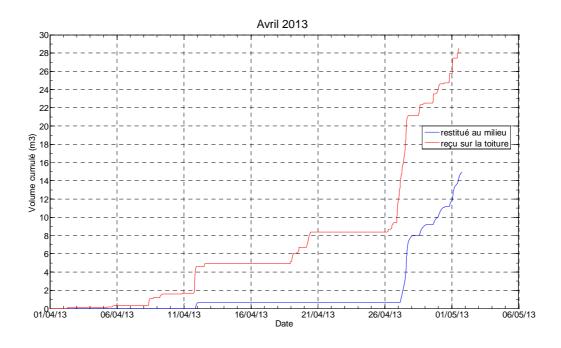


Figure 15 : Volume cumulé reçu par la toiture et restitué vers les débitmètres du 1<sup>er</sup> au 30 avril 2013.

On constate Figure 15 que les événements pluvieux du 19 au 21 avril 2013, bien qu'ils soient significatifs, ne conduisent à aucun volume rejeté par la toiture. Il faut attendre les forts événements à partir du 26 avril pour observer une reprise des volumes rejetés par la toiture. Ceci s'explique par le fait que les événements du 19 au 21 avril se produisent à une période où les températures du sol (substrat de la toiture, données LOCIE) sont très élevées (supérieures à 30 °C), comme indiqué Figure 16 : l'évaporation et l'évapotranspiration sont alors très importantes, toute la précipitation reçue est stockée dans la toiture puis évaporée et évapotranspirée sans rejet vers les débitmètres.

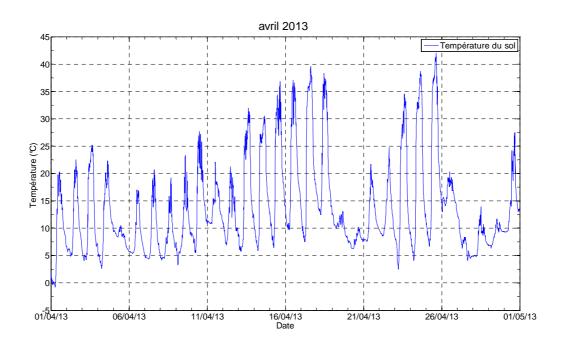


Figure 16 : Température du substrat de la toiture (données LOCIE) du 1<sup>er</sup> au 30 avril 2013.

Lorsque la pluie survient après une période sèche et chaude comme celle du 14 au 19 avril 2013, les événements pluvieux ultérieurs peuvent être entièrement stockés par la toiture. En revanche si la période de sécheresse est moins marquée et les températures plus basses, il existe une corrélation plus marquée entre volumes cumulés reçus et restitués, comme le montre par exemple la Figure 17 pour le mois de novembre 2012. Sur ce mois de novembre 2012, les volumes cumulés reçus et restitués sont respectivement de 35 m³ et de 28 m³. La toiture a donc stocké 7 m³, soit 20 % du volume précipité. Ce pourcentage est nettement plus faible qu'en avril 2013.

Les graphiques équivalents aux Figure 14 et Figure 15 sont fournies en annexe pour tous les mois où les données sont disponibles.

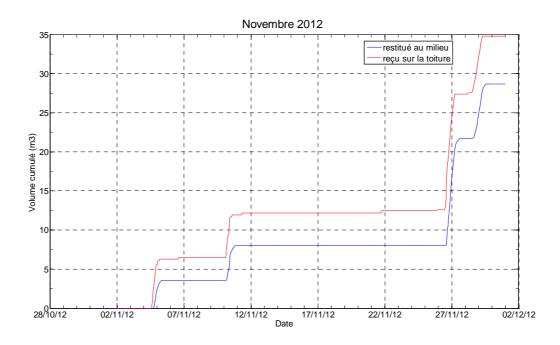


Figure 17 : Volumes cumulés reçus et restitués vers les débitmètres du 1<sup>er</sup> au 30 novembre 2012.

#### Analyse des données sur l'ensemble de la période de mesure

Les résultats présentés ci-dessous portent sur la totalité des événements pluvieux pour lesquels on dispose simultanément des données de précipitation et des données de débit. Cela correspond à la période de septembre 2012 à mai 2013, qui comporte 160 événements pluvieux (3 événements en mai ne comportent pas de mesure de débit).

La capacité de stockage de la toiture dépend nécessairement de la succession des événements pluvieux antérieurs et des conditions d'évaporation et d'évapotranspiration. Il n'est donc pas possible de conclure de manière simplifiée en indiquant une capacité de stockage ou un pourcentage de stockage constant de la toiture. Le Tableau 1 donne les pourcentages d'interception mensuels. On observe une variabilité importante de ce pourcentage entre 17 et 91 %. Sur l'ensemble des 9 mois, le pourcentage global d'interception des précipitations par la toiture est de 40 %.

Période	Nombre d'événements	Volume reçu (mm)	Volume restitué (mm)	Pourcentaged'interception (%)
sept12	6	67.4	43.7	35.2
oct12	17	37.4	3.5	90.6
nov12	10	122.2	101.6	16.9
déc12	29	42.2	22.6	46.4
janv13	19	43.5	23.9	45.1
févr13	20	45.8	10.8	76.4
mars-13	16	52.6	13.9	73.6
avr13	23	91.2	52.8	42.1
mai-13	20	121.8	101.2	16.9
total	160	624	374	40.1

Tableau 1 : Pourcentages d'interception mensuel et global des précipitations par la toiture végétalisée de septembre 2012 à mai 2013.

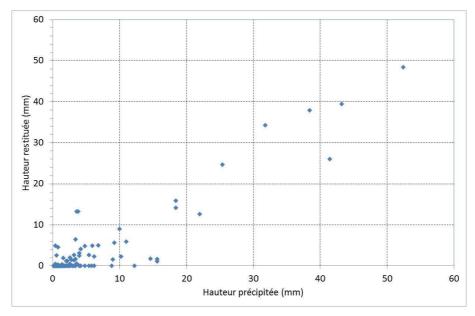


Figure 18 : Hauteur restituée en fonction de la hauteur précipitée pour les 160 événements mesurés de septembre à mai 2013.

La Figure 18 représente la hauteur restituée en fonction de la hauteur précipitée pour les 160 événements de septembre à mai 2013. En première analyse, pour les événements de hauteur précipitée inférieure à 20 mm, la hauteur restituée varie entre 0 (stockage intégral de 100 % de la précipitation dans la toiture) et 17 mm (stockage de 15 %), avec un grand nombre d'événements présentant un stockage supérieur à 50 %. Pour les événements supérieurs à 20 mm, le pourcentage de stockage est très faible ou nul.

Le Tableau 2 présente une analyse plus détaillée de ces valeurs par classes de hauteur précipitée : il indique la probabilité de stockage intégral de la précipitation par la toiture en fonction de la hauteur précipitée. La probabilité est de 91 % pour les pluies inférieures à 2 mm, de l'ordre de 50 % pour les pluies comprises entre 2 et 6 mm, de l'ordre de 20 à 25 % pour les hauteurs comprises entre 6 et 16 mm, et de 0 % au-delà de 16 mm.

hauteur précipitée (mm)	probabilité de stockage intégral (%)
0 à 2	91
2 à 4	46
4 à 6	50
6 à 12	22
12 à 16	25
16 à 20	0
20 et plus	0

Tableau 2 : Pourcentages d'interception mensuel et global des précipitations par la toiture végétalisée de septembre 2012 à mai 2013.

Les observations menées sur l'aspect « biologique » (suivi des peuplements végétaux), ont par ailleurs permis de constater que les racines se développaient sur toute l'épaisseur du substrat pour les murs végétalisés. Les photographies ont permis d'estimer le taux de recouvrement de la surface du mur par les feuilles avec un taux variant de 0,7 à 1,2 selon la saison (hiver ou été) pour les murs. Pour les toitures, les valeurs sont beaucoup plus étendues et nous avons observé en 2011 un très faible taux de recouvrement (0,3 à 0,6) du fait des conditions climatiques. Ce taux est pris en compte dans la modélisation des transferts thermiques et hydriques. Bien que relativement simples, ces observations paraissent suffisantes pour estimer le rôle des végétaux dans les transferts de masse et chaleur par les structures végétalisées.

#### 2ème expérimentation : Evolution et variabilité du climat dans la Drôme

Les analyses réalisées dans le cadre de DECLIC relèvent de la climatologie diagnostique, en partant de données climatiques et environnementales issues de l'observation et de la modélisation numérique du climat, mais aussi des sciences sociales, avec la réalisation d'enquêtes et d'entretiens semi-directifs, et enfin, l'analyse de données socio-économiques. En fonction de la réalité de terrain incontournable liée à la volonté du partenaire principal (le CG26) et l'évolution de ses priorités thématiques, mais aussi face à certains blocages (pas d'accès à certaines données techniques, pas d'intérêt du milieu professionnel, pas de soutien du volet politique), les réalisations sont alors quelquefois devenues seulement exploratoires. Ainsi, les volets 'agricole' ou 'ressource en eau' sont devenus beaucoup moins essentiels dans les attentes, alors que les thèmes liés à la santé ou bien à la consommation d'énergie (deux aspects pas du tout envisagés initialement dans DECLIC) revenaient régulièrement dans les opportunités à développer. L'idée de la conception « d'un livre blanc » (idée évoquée dans le projet soumis) n'a plus reçu l'aval de la collectivité qui l'a trouvé inutile et pas du tout adaptée au contexte départemental. Ces éléments contextuels expliquent aussi surement que certains aspects du projet DECLIC n'ont alors pas pu retenir l'attention et le soutien des élus.

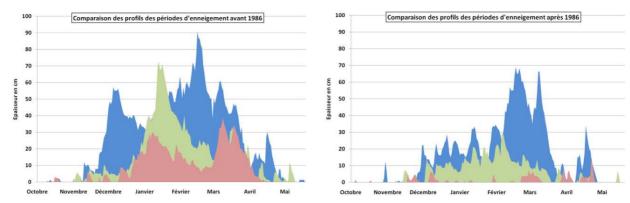
Tiraillés entre renforcer les analyses techniques et analytiques en climatologie (qui apparaissaient finalement soit trop complexes soit peu diffusables par le CG26) ou alors développer un volet de sciences sociales et de sciences politiques (ce qui n'était absolument pas l'objectif du projet), le projet et l'équipe de chercheurs ont dû s'adapter pour pouvoir poursuivre la collaboration et les recherches.

#### <u>L'étude des tendances climatiques en Drôme sur les 60 dernières années</u>

Les analyses à partir des stations météorologiques du département montrent tout d'abord que le climat de la Drôme a significativement évolué ces soixante dernières années. On remarque une tendance significative à l'augmentation des températures, surtout pour les températures maximales. Une rupture statistique dans les séries climatiques est observée à la fin des années 1980, et plus précisément en 1987 avec une augmentation nette des températures, mais également un changement du régime des précipitations saisonnières, évolutions qui indiquent une modification importante du climat à partir de cette période, similaire à celle constatée par ailleurs aux niveaux national et européen.

La hausse des températures moyennes a pu être quantifiée entre +1 et +1,5°C depuis 1989, soit environ +0,34°C en moyenne par décennie pour le département ; le printemps et l'été sont les saisons les plus affectées par ce réchauffement climatique. L'augmentation moyenne des températures est donc plus rapide dans la Drôme que celle observée par les moyennes thermiques à l'échelle de l'hémisphère Nord. Les précipitations montrent des tendances moins marquées que pour les températures. Néanmoins, on relève une augmentation des pluies d'automne et d'avril, avec des précipitations plus faibles qu'avant 1988 en février et en mars.

Ces variations climatiques ne se traduisent pas de la même manière sur l'ensemble du département : les zones de montagne sont les plus sensibles à ce réchauffement. Les espaces aux plus hautes altitudes (supérieures à 1000 m) semblent bien plus sensibles au réchauffement climatique, en particulier en saison hivernale. L'évolution contemporaine (i.e. depuis les années 1960) de la couverture nivale est très nette (figure 5), avec une diminution de l'enneigement, davantage liée à l'augmentation des températures qu'à la baisse des précipitations, une réduction de la durée et de la quantité de l'enneigement, ainsi qu'une plus forte variabilité interannuelle.



**Figure 19 :** Evolutions des trois principaux types de régimes nivologiques (« très enneigé » en bleu ; « normalement enneigé » en vert ; « peu enneigé » en rouge) calculés à partir des moyennes des stations de montagnes du département de la Drôme antérieures à 1986 (à gauche) et postérieures à 1986 (à droite) ; résultats obtenus dans le cadre du volet DECLIC.

Dans la Drôme, les hauteurs de neige cumulées ont perdu environ un mètre si on compare les périodes de part et d'autre de 1987, année de rupture dans les séries climatiques et nivologiques. Cette baisse correspond par exemple au passage de 27 à 17 jours avec précipitations neigeuses (période 1961-2010) observés à l'échelle des stations de ski. Alors que le maximum d'un hiver moyen 'très enneigé' atteint 90 cm vers la fin du mois de février avant 1986, il ne dépasse pas 70 cm après 1986. On constate également que le manteau neigeux définitif apparaît plus tardivement, c'est-à-dire plutôt dans la première moitié du mois de décembre après 1986 alors que la couverture nivale était formée dans la seconde moitié du mois de novembre avant cette période charnière. En plus de ces évolutions, certaines stations drômoises sont particulièrement sensibles aux déficits d'enneigement du fait de leur situation géographique (Préalpes occidentales) et de leur orientation (sensibilité aux vents de sud). C'est par exemple typiquement le cas de la station de Valdrôme (790 m d'altitude), la plus méridionale des stations drômoises, qui enregistre alors une forte variabilité de son chiffre d'affaire annuel en fonction de la durée et des conditions d'enneigement (cf. tableau suivant), sa viabilité économique (en tant que station de ski) à moyen terme pouvant être critique.

Saisons	Date d'ouverture	Date de fermeture	Durée de la saison (en mois)	Chiffres d'affaires - vente de forfaits (indice 100 pour 2008-09)	Nombre de jours avec précipitation neigeuses à Bellegarde-en- Diois (NDJFM)
2006-2007	24 janv.	27 fév.	1	2	7
2007-2008	5 janv.	2 mars	2	28	15
2008-2009	13 déc.	15 mars	3	100	19
2009-2010	8 janv.	7 mars	2	72	14
2010-2011	4 fév.	13 mars	1,2	5	Non com.

Tableau 3: Variations des principales caractéristiques nivologiques et des chiffres d'affaires à la station de ski de Valdrôme sur la période 2006-2011

La station de Valdrôme est donc largement en-deçà du seuil de viabilité. Cependant, depuis quelques années, les stations drômoises sont gérées directement par le Conseil Général. Ce mode de gestion dit « public » traduit des objectifs différents d'une gestion « privée ». En gérant les stations de ski, le CG26 favorise le développement économique et social des territoires ruraux et montagnards du département. Les stations drômoises coûtent chaque année environ 3 millions d'euros en fonctionnement et le Conseil Général équilibre le budget environ à hauteur de 1,8 millions d'euros. Mais on estime les retombées économiques du fonctionnement des stations sur le territoire à 26 millions d'euros. La disparition progressive naturelle (i.e. climatique) du manteau neigeux (en durée et épaisseur) remet donc fortement en question ce mode de développement. Deux solutions émergent alors potentiellement : 1) la reconversion et/ou la multi-activité ; 2) le développement de solutions techniques pour la neige de culture (enneigeurs).

Plusieurs formes et stratégies d'adaptation multi-sectorielles (déjà en cours ou potentielles) ont été recensées et étudiées à l'échelle du département (cf. schémas de synthèse suivants). Elles ont donné lieu à un début d'échanges à l'échelle des services techniques du CG26 et professionnels (responsables de stations).

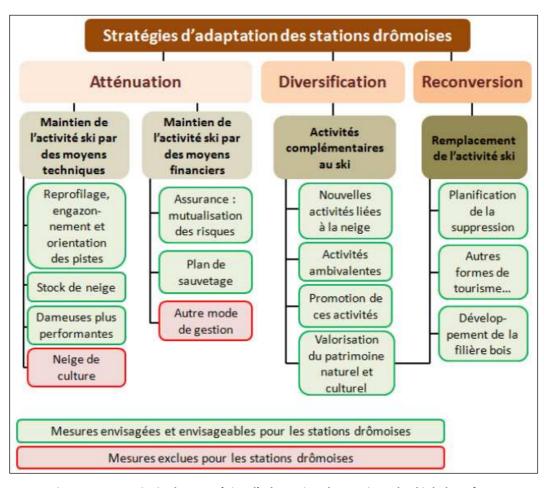


Figure 20: Les principales stratégies d'adaptation des stations de ski de la Drôme

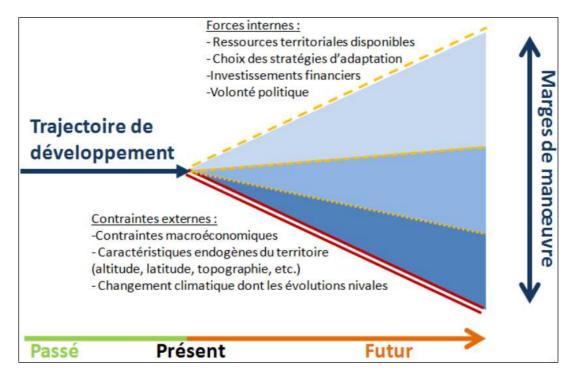


Figure 21 : Le "cône des possibles", un outil de réflexion pour évaluer les différentes trajectoires de développement territorial envisageables (adapté pour la Drôme d'après une méthodologie de Marcelpoil et François, 2008)

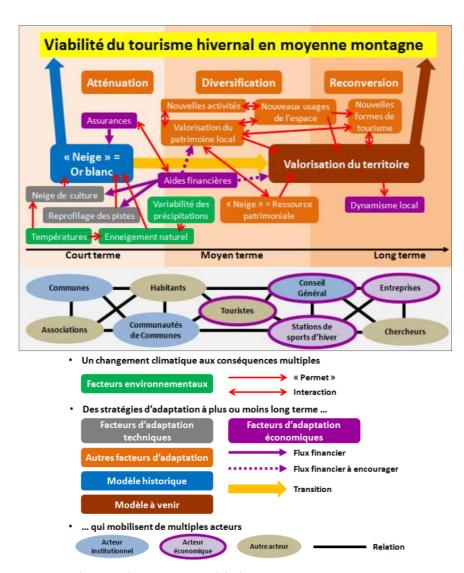


Figure 22 : Schéma systématique simplifié résumant la transition vers un nouveau modèle de développement territorial pour le tourisme hivernal et les stations de moyenne montagne drômoises.

Mais c'est justement à ce niveau de constat que les éléments et les échanges ont été ensuite plus complexes à l'échelle des élus sur ce thème dans le cadre de DECLIC. Ce sujet de l'activité socio-économique en lien avec la ressource nivale est en effet un enjeu politique fort sur le territoire drômois, avec apparemment le refus de certains élus en charge de ce dossier de croire qu'il y a évolution à la baisse de l'enneigement, en argumentant par exemple que les modèles et prévisions climatiques ne sont pas fiables.

Les prévisions climatiques issues de simulations numériques sur le moyen (2021-2050) et le long terme (2071-2100) ont été établies à partir des données du programme coordonné par Météo-France et financé par l'Agence Nationale de la Recherche, dénommé SCAMPEI<sup>4</sup> permettant l'accès à des sorties de modèles régionaux à une résolution spatiale intéressante (8 km) pour les questionnements et diagnostics climatologiques de DECLIC.

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Scénarios Climatiques Adaptés aux zones de Montagne : Phénomènes extrêmes, Enneigement et Incertitudes

Au regard des projections régionales issues des données SCAMPEI, et malgré leurs incertitudes relatives (et selon les scénarios et/ou les modèles retenus), les principaux résultats à l'échelle de la Drôme indiquent une hausse des températures moyennes annuelles à moyen terme (2021-2050) de +1,5 à 1,7°C par rapport à la normale 1961-1990, et de +2,5°C à 4,5°C sur le long terme (2071-2100). L'ensemble du territoire drômois (espace de plaine et espace de moyenne montagne) enregistra des changements très significatifs des fréquences thermiques saisonnières, en particulier celles correspondant aux valeurs extrêmes (cf. figures suivante).

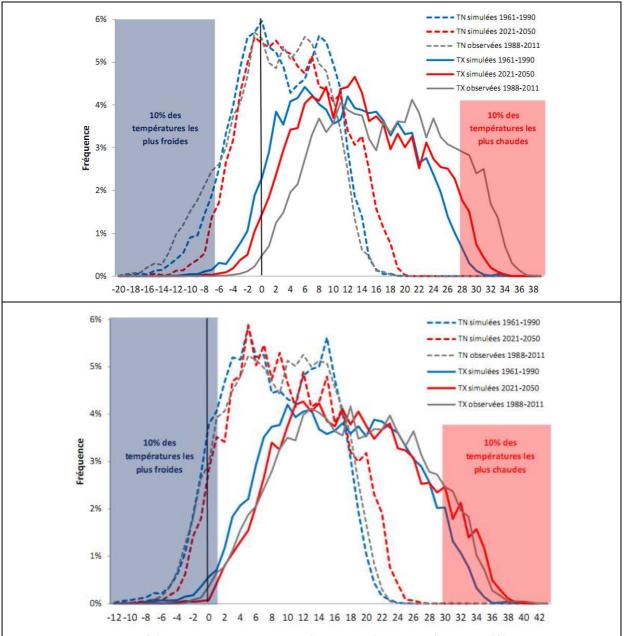


Figure 23 : Exemple des fréquences thermiques observées et simulées sur la période de référence 1961-1990 et le moyen terme (2021-2050), selon le scénario A1B - données issues du modèle ALADIN : en haut, pour une commune de la montagne drômoise, la commune de Valdrôme ; en bas, pour une commune de la plaine provençale drômoise, la commune de Montélimar

Le réchauffement attendu alternera des phases de réchauffement rapide avec des phases de réchauffement plus lent, ainsi que de nombreuses phases de refroidissement relatif.

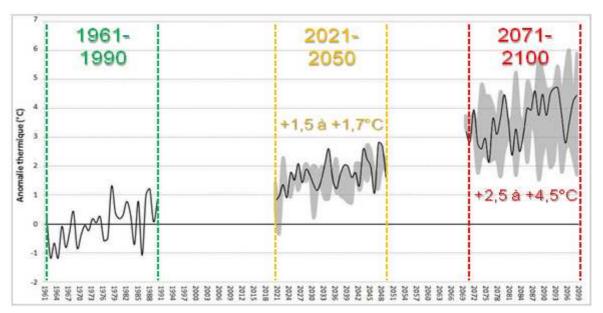


Figure 24: Anomalies des températures moyennes annuelles prévues à moyen (2021-2050) et long terme (2071-2100) selon les projections du modèle ALADIN et en fonction du scénario A1B (calculées à partir des 12 points de grille de référence retenus dans la Drôme et correspondant à des stations de validation) par rapport à la période de référence 1961-1990; l'intervalle grisé correspondant à la marge d'incertitude des projections selon les évolutions prévues par le scénario climatique A2 (le plus pessimiste) et B1 (le plus optimiste) du GIEC; résultats obtenus dans le cadre du volet DECLIC.

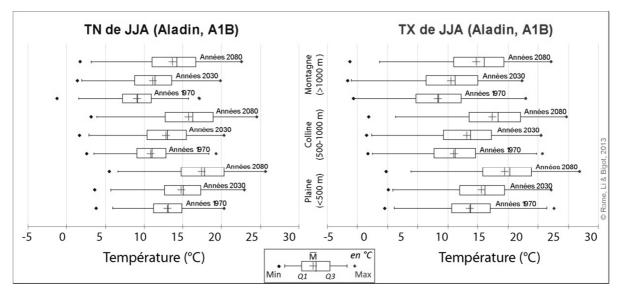
La hausse des températures prévue est plus importante à l'est du département, dans les espaces de moyenne montagne. En plaine, il est probable que les conditions thermiques estivales seront régulièrement comparables à celles enregistrées en 2003, les maximales diurnes des mois de juillet et août pouvant atteindre voire dépasser communément 34°C. A moyen et long terme, la température moyenne du mois le plus froid de l'année pourrait atteindre entre 1,7 et 2,9°C pour les plus hautes altitudes départementales, et il n'y aurait donc plus de températures moyennes négatives. Cela s'accompagnerait d'une réduction très significative du nombre de jours de gel.

A moyen terme, on observe une augmentation prévue du cumul pluviométrique annuel moyen due à l'augmentation du cumul hivernal, qui compenserait la baisse du cumul de la période estivale. Sur le long terme, la hausse du cumul hivernal ne compense pas la baisse du cumul estival, ce qui devrait engendrer la baisse du cumul moyen annuel d'ici la fin du siècle.

Les analyses basées sur des approches composites (*i.e.* années extrêmes observées après 1987) suggèrent que les débits départementaux devraient diminuer certaines années (jusqu'à 40 % par rapport à ceux de la période 1987-2011), dépendant de la diminution des précipitations pluvieuses, de la hausse des températures et de la réduction du manteau neigeux.

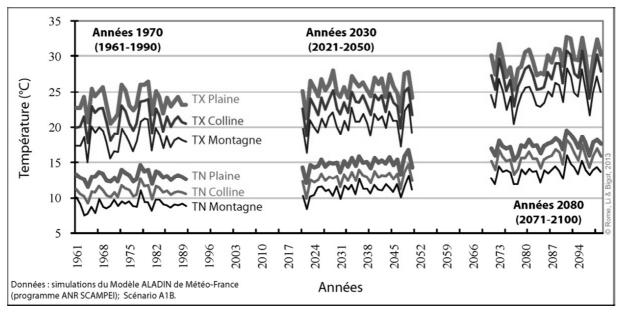
A l'échelle de la partie préalpine de la Drôme (Vercors, Diois, Baronnies), les analyses menées sur les extrêmes thermiques dans le cadre de DECLIC indiquent que l'amplitude thermique diurne des années 1970 varie en moyenne de 9,4°C en plaine en juin (8,2°C en montagne) à 11,7°C en août (10,3°C en montagne). Le résumés des statistiques des

températures minimales (Tn) et maximales (Tx) pour les 3 classes altitudinales étudiées sont représentées sur la figure suivante.



**Figure 25 :** Statistiques descriptives des Tn (à gauche) et des Tx (à droite) d'un indice préalpin estival (JJA), pour la période actuelle (1961-90), le futur proche (2021-2050) et le futur lointain (2071-2100), obtenues pour les données simulées du modèle Aladin (Météo-France) et le scénario A1B du GIEC.

Les mois de JJA devraient se réchauffer à moyen terme, surtout les Tx dont l'intensité s'accroit entre la période de référence et le futur proche (Tn:+1,9°C; Tx:+2,1°C) et surtout le futur lointain (Tn:+4,6°C; Tx:+6,2°C). Ce réchauffement moyen est perceptible quelle que soit l'altitude, mais il est surtout sensible dans les zones de moyenne montagne où les TX devraient davantage augmenter que les TN (cf. figure et tableau suivants).



**Figure 26 :** Evolution des Tn et Tx de l'indice préalpin estival (données issues de 15 stations de la grille SCAMPEI en JJA), pour la période actuelle (période 1961-90), le futur proche (2021-2050) et le futur lointain (2071-2100), obtenues pour les données simulées du modèle Aladin (Météo-France) et le scénario GIEC-A1B.

**Figure 27:** Variation des températures estivales les plus chaudes (90<sup>ème</sup> percentile) entre le présent (1961-90) et le futur (2021-2050 ainsi que 2071-2100), pour les TN et les TX selon 3 classes d'altitude calculées dans les Préalpes.

Extrêmes chauds (TN et TX au 90 <sup>6 me</sup> percentile)	Juin		Juillet		Août	
	Tn	Tx	Tn	Tx	Tn	Tx
Montagne 1970	11,7	22,4	12,7	25,1	12,5	25,0
Montagne 2030	13,1	22,9	15,4	27,6	15,9	28,6
Montagne 2080	15,4	27,4	18,4	32,1	18,7	31,8
Colline 1970	13,0	24,5	14,6	27,4	14,5	27,9
Colline 2030	14,4	24,9	17,3	29,9	17,9	31,3
Colline 2080	16,9	29,5	20,9	34,9	21,2	34,8
Plaine 1970	15,0	26,4	16,6	29,4	16,5	30,1
Plaine 2030	16,3	27,0	19,0	31,7	19,6	33,3
Plaine 2080	18,4	31,1	22,1	36,9	22,5	37,1

#### Etude d'impacts sur des secteurs économiques clés

Au vu de ces résultats, l'évolution potentielle du climat drômois pourrait avoir des répercussions partielles ou plus fondamentales sur les activités économiques du département. Plusieurs secteurs à enjeux pour le territoire ont été identifiés et ont fait l'objet d'études plus poussées, comme la **filière des Plantes à Parfum, Aromatiques et Médicinales** (PPAM) et celle des **fruitiers**. Les analyses portant sur des aspects agroclimatiques, notamment les cultures à forte notoriété patrimoniale et au poids économique non négligeable comme la lavande et le lavandin, avaient comme objectif de mieux comprendre le lien entre production et variabilité climatique. Les acteurs de la filière font état de mauvaises récoltes entre 2003 et 2007 dues principalement à des problèmes sanitaires causant une mortalité importante. Mais peu de données sont disponibles pour la lavande et le lavandin, notamment les paramètres agronomiques et agro-climatiques de base, alors qu'ils sont disponibles pour d'autres filières, comme les fruitiers par exemple qui ont fait l'objet d'une recherche parallèle dans DECLIC.

A ce stade, d'après les premiers entretiens, observations et analyses agro-climatiques, la variabilité climatique saisonnière semble influencer directement le rendement annuel en huile essentielle de lavande/lavandin, peut-être en l'influençant indirectement par le développement de maladies, comme le dépérissement à phytoplasme. Pour la filière des fruitiers, les résultats obtenus font état d'une relation entre la phénologie et la variabilité climatique, l'hiver doux causant souvent une floraison précoce et un déficit en fruits. Les impacts potentiels sont donc la perte de surface, la diminution des rendements associée à une moindre qualité des fruits et une modification gustative avec des conséquences évidentes sur la commercialisation. Mais, à ce jour, un certain nombre de données font encore défaut pour pouvoir confirmer/infirmer un tel impact au niveau local. Néanmoins, au regard des recherches précédentes, et en fonction des contraintes agro-climatiques, il y a une forte possibilité pour que l'arboriculture de la Drôme se déplace vers le Nord. Si cela est confirmé, les questions relatives à l'irrigation ou encore à la diversification variétale seront posées afin d'adapter les cultures fruitières.

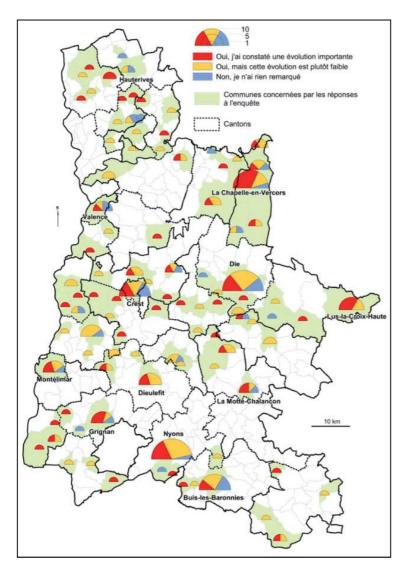
Un autre secteur fortement interrogé par la variabilité climatique départementale est celui des activités de montagne hivernales, dépendant de l'existence du manteau neigeux. Les fortes variations de l'enneigement au cours des deux dernières décennies amènent donc de nombreuses interrogations (et tensions) parmi les acteurs, aménageurs, gestionnaires et élus en lien avec ce secteur d'activité. Une réflexion porte notamment sur les différentes

stratégies d'adaptation possible en réponse au manque d'enneigement pour les stations de moyenne montagne et leur temporalité pour leur mise en place. Ainsi, pour assurer la viabilité économique d'une station de ski, un manteau neigeux d'une trentaine de centimètres sur une période de trois mois environ et ce, au moins sept hivers sur dix, est nécessaire. Les grandes tendances qui se dessinent à l'échelle départementale (diminution de l'enneigement, apparition plus tardive du manteau neigeux et réduction de la durée de la saison pour les professionnels) vont donc venir modifier le modèle de développement territorial des zones de moyenne montagne de la Drôme. Les stations drômoises, jusqu'ici très complémentaires des grandes stations, en pourvoyant à la formation des skieurs se tournant ensuite vers les grands domaines, vont être amenées à reconsidérer les ressources climatiques dont elles disposent.

Les informations collectées et les projections climatiques corroborées à l'expérience de terrain des acteurs constituent ainsi une matière de travail pour anticiper et accompagner au mieux une transformation (mutation ?) progressive de ces espaces. Pour ce faire, différentes stratégies sont possibles : mesures d'atténuation visant à maintenir l'activité ski dans une période de transition (neige de culture, stockage de neige, etc.), le développement d'activités complémentaires (raquettes à neige, VTT, tir à l'arc, course d'orientation, fonctionnement de la station en hiver et en été, etc.) en vue de la diversification, enfin, la reconversion à long terme.

#### Perception du changement climatique par les acteurs du tourisme

La perception du changement climatique par les acteurs et l'analyse des stratégies mises en place ont été étudiées, en particulier grâce à une enquête effectuée en 2011 auprès des professionnels du tourisme drômois. Lancée en collaboration avec l'Agence de Développement Touristique et le Conseil général de la Drôme, cette enquête réalisée en ligne portait sur plus de 2400 professionnels (avec un taux de réponse de 9 %, soit 223 réponses) et a permis d'obtenir une couverture géographique homogène (figure 4).



Un grand nombre de répondants affirme constater une modification du climat local (38,3 %) alors que 15,7 % disent n'avoir rien remarqué.

La plupart observe une augmentation des températures (58,9 %) mais aussi une diminution des précipitations (44,9 %).

Ces réponses sont en fait à l'image des conclusions fondées sur l'étude objective des chroniques climatiques départementales sur la période récente.

Figure 28: Cartographie résumant les principaux types d'évolutions climatique perçus par les professionnels du tourisme ayant répondu à l'enquête lancée en 2011 dans le département de la Drôme; résultats obtenus dans le cadre du volet DECLIC.

L'enquête révèle également que 45,8 % des professionnels interrogés estiment que le changement climatique à de faibles conséquences sur leur activité tandis qu'à l'inverse, 29,4 % les pensent fortes. Les conséquences ont tendance à être estimées comme faibles pour les activités liées au patrimoine culturel et très faibles pour les activités culturelles. Les professionnels de l'hébergement collectif estiment en revanche globalement ces conséquences comme potentiellement très fortes. Plus précisément, les questions relatives à la vulnérabilité montrent que 7,9 % des professionnels se sentent très vulnérables et inquiets pour leur activité. Les secteurs concernés sont majoritairement ceux des activités sportives et de l'hébergement locatif, collectif et de plein air. Interrogés sur la vulnérabilité des ressources, ils citent dans un premier temps les ressources naturelles, celle qui leur semble la plus vulnérable étant l'eau (38,6 %). Pour certains, il s'agit d'un regard sur l'approvisionnement, pour les autres, sur le niveau des rivières. Le second secteur le plus vulnérable est celui des paysages naturels (29,1 %) et de la neige (27,8 %).

La possibilité d'adaptation des structures touristiques de la Drôme, prend, dans ce contexte, tout son sens. L'enquête montre que **82 % des professionnels interrogés n'ont engagé aucune réflexion ou travaux allant dans le sens d'une adaptation**. En revanche, 15,6 % ont déjà un projet, voire même déjà amorcé une action en faisant évoluer tout ou partie de leur

activité (7,3 %). Leur choix va vers une diversification de l'activité (5,4 %) ou l'augmentation des efforts de communication (5,3 %) ; 24,2 % des répondants se voient également freinés par un manque de moyens financiers.

Les professionnels des cantons montagneux de La Chapelle-en-Vercors, Le Grand-Serre ou encore la Motte-Chalonçon adhèrent globalement plus au constat que le changement climatique peut être néfaste pour eux et pour leur activité. A l'inverse, les professionnels des vallées de la région de Valence, de Crest et Marsanne ont tendance à se sentir bien moins concernés et vulnérables. Cette dichotomie oppose donc les domaines skiables et l'hôtellerie de plein air (très vulnérables) aux activités liées au patrimoine culturel de la Drôme. En effet, les stations de sport d'hiver se voient menacées notamment par rapport à une diminution des précipitations neigeuses alors que l'hôtellerie de plein air pâtirait d'une augmentation des températures, ce qui déstabiliserait le confort climatique nécessaire aux vacanciers.

# <u>L'analyse des trajectoires de recomposition paysagère : l'exemple de l'ENS de la forêt de</u> Saoû

A l'échelle de cet espace forestier spécifique choisi dès 2010 en concertation avec la CG26 comme représentatif des espaces naturels préservés potentiellement vulnérables au changement climatique et avec de forts enjeux liés aux pratiques (tourisme et pastoralisme), trois cartes ont été réalisées à partir du cadastre napoléonien, de missions aériennes et d'imageries satellitaires qui permettent de définir l'état de fermeture des milieux en 1824, 1948 et 2006 (cf. tableau et figure suivants). La production de ces documents cartographiques est originale à l'échelle départementale et permet de mieux comprendre les évolutions à long terme de ces paysages forestiers.

	1824	1948	2006
Surfaces fermées	48	64	87
Surfaces en recomposition forestière	14	25	9
Surfaces ouvertes	30	12	5

Pourcentage des surfaces ouvertes, en recomposition forestière et fermées de la forêt de Saoû pour les années 1824, 1948 et 2006 (synthèse obtenue à partir de données cartographiques multi-sources).



**Figure 29 :** Exemple de la carte d'occupation du sol en forêt de Saoû au début du 21<sup>ème</sup> siècle (établie d'après les données des habitats naturels du Conservatoire Botanique National Alpin, 2003).

En résumant les évolutions, il apparaît qu'entre le milieu du XX<sup>ème</sup> et le début du XXI<sup>ème</sup> siècle, la couverture forestière a progressé sur presque un quart de la superficie intérieure du synclinal de Saoû. Cela correspond à une disparition de 58 % des surfaces ouvertes et de 64 % des surfaces couvertes par les landes et fourrés en 1948. La fermeture des paysages agro-forestiers entre 1948 et 2006 concerne principalement le secteur des Trois Becs et une vaste zone du versant adret, entre le Pas de Lauzun et l'ouverture sud de la forêt. Ces évolutions d'occupation du sol doivent être intégrées dans les études sur les contraintes et variations bioclimatiques régionales ou d'échelle supérieure. Ainsi, à partir de cette étude de terrain, des analyses quantitatives mais aussi des entretiens avec les experts forestiers qui suivent les évolutions, il est par exemple possible de montrer que le chêne pubescent résiste bien au stress hydrique et aux fortes températures, et qu'il résistera surement localement, dans cet espace préservé, au réchauffement du climat et à l'augmentation des épisodes de sécheresse. Le hêtre, espèce qui supporte des écarts thermiques importants, ainsi que les sécheresses estivales, tout en poussant sur des pentes bien drainées, pourra aussi résister aux variations climatiques à moyen terme, même si un fort réchauffement et des conditions sèches permanentes pourraient avoir des impacts significatifs sur sa survie. Mais à l'heure actuelle, le réchauffement climatique observé a plutôt pour effet sensible d'accroître la productivité végétale forestière, la récurrence des printemps doux engendrant des périodes de débourrement et de feuillaison précoces, allongeant de ce fait la période de productivité végétale.

#### La sensibilité bioclimatique des espaces forestiers aux variations climatiques

Un travail plus précis a étudié la variabilité bioclimatique des espaces forestiers de moyenne montagne de la partie drômoise du Vercors (Rome *et al.*, 2013). L'étude a surtout été réalisée grâce à l'analyse d'un indice de végétation maintenant couramment utilisé en télédétection, le Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Les données satellitaires utilisées proviennent des capteurs SPOT-4 et SPOT-5 VEGETATION. C'est essentiellement la saison de végétation (mars à octobre) qui a été analysée. Les résultats indiquent que l'ensemble des espaces forestiers enregistre les mêmes années avec un indice d'activité végétale anormalement bas (typiquement 1999 et 2004) ou élevé (2007 et 2009). Plus généralement, indépendamment du type de peuplement forestier, et si on ne tient pas compte des années très atypiques 2004 et 2007, la productivité végétale augmente sur l'ensemble de la période d'étude. Mais la productivité foliaire des forêts de feuillus a été davantage touchée régionalement par la période chaude (voire caniculaire) observée dès juin 2003 que les forêts mixtes.

Plus largement, les résultats à partir du NDVI indiquent une grande variabilité spatiotemporelle de la phénologie forestière, les réponses bioclimatiques asynchrones de l'activité végétale étant complexes à interpréter et très variables dans ce domaine préalpin soumis à de multiples influences topoclimatiques dépendantes du contexte synoptique (circulation générale atmosphérique) et de la mosaïque topographique. Ainsi, les circulations atmosphériques de sud, contrairement à ce qui l'on pourrait intuitivement attendre, sont peu liées à des extrêmes thermiques dans le Vercors. Mais dans le contexte de l'évolution interannuelle de la fréquence et de l'intensité de ces circulations sur l'Europe, observée depuis plusieurs décennies, leurs influences bioclimatiques évoluent très sensiblement dans

la région drômoise, ce dont il faudra tenir compte dans les prochaines phases d'analyse écoclimatiques à l'échelle régionale.

L'impact écologique décalé de l'épisode chaud et relativement sec de 2003 est par exemple essentiel pour interpréter la réponse phénologique qui a suivi régionalement dans la Drôme au printemps et à l'été 2004, dans une logique de résilience de la végétation après ce stress thermo-pluviométrique très significatif. Cette période très chaude s'observe à l'échelle régionale, avec des températures diurnes stables de 27-29°C entre juin et août 2003, à plus de 1000 m d'altitude, alors qu'on retombe à 22-24°C l'été suivant. Mais c'est surtout cet épisode stressant, cumulé à la sécheresse du printemps-été 2004, qui explique la baisse de productivité végétale observée dans les forêts du Vercors.

#### Perception du changement climatique par les techniciens et élus de la collectivité

Une série d'entretiens avec des techniciens et experts départementaux a permis de mieux cerner les demandes et attentes liées aux problématiques de la perception du changement climatique, ainsi que des possibilités ou pistes déjà en cours d'adaptation. Globalement, il ressort de ces entretiens une **attente d'informations plus précises pour réduire « le coût d'entrée » en temps**, jugé comme important pour comprendre toutes les notions liées au changement climatique. Mais les besoins en information sont peu importants de la part des techniciens qui considèrent déjà posséder une culture à ce sujet. Cependant, l'information est jugée disponible, mais c'est davantage le foisonnement de l'information qui pose problème. Les éléments scientifiques sont perçus au service du politique, mais il faut alors donner des cadres et des éléments d'analyse formalisés sur lesquels les techniciens construisent leur politique, et aussi l'argumentaire pour les élus. La collaboration entre scientifiques, techniciens et élus ne semble donc pas totalement évidente, et elle requiert une méthodologie de projet adaptée.

Pour les personnels de la collectivité interrogés, le changement climatique demeure souvent une « notion valise », abstraite et vague, aux contours flous, dont il est difficile de cerner ce qui fait sa cohérence d'ensemble. Y sont associées de multiples notions qui apparaissent imbriquées dans les discours des interviewés, sans que le lien soit clairement identifié, comme par exemple la gestion et la préservation des ressources naturelles, de l'environnement, la réduction des consommations d'énergie et le développement durable. Le changement climatique semble alors rester un discours sans consistance qui permet difficilement de poser les termes du débat.

Les entretiens ont cependant pu mettre en évidence les prémisses d'une mise en débat du changement climatique à l'échelle départementale, à différents degrés :

- 1) Une première mise en débat au sein d'arènes techniques (le cas de la thématique forestière);
- 2) Des questionnements quant aux impacts du changement climatique tel que le risque d'accentuation des lignes de fracture territoriale est/ouest, la dissymétrie spatiale, voire d'une ségrégation spatiale;
- 3) Un début de débat sur l'adaptation : faut-il agir ou laisser faire ? Faut-il prendre en considération des capacités différenciées d'adaptation de certains territoires et mettre en place des stratégies différenciées est/ouest ;

4) La prise en considération de potentiels effets dominos liés aux impacts du changement climatique.

#### Le difficile exercice de la transmission d'informations scientifiques aux élus de la collectivité

Si l'on reprend les 3 questions scientifiques initiales définies en 2009 et orientées sur une recherche-action développée en accord avec le CG26 (est-ce que le changement climatique est déjà perceptible sur le territoire ? Comment va-t-il évoluer ? Comment le territoire va-t-il pouvoir s'adapter ?), la part directement accessible aux scientifiques a été réalisée (i.e. questions 1 et 2), avec un diagnostic climatologique qui n'avait jamais été mené à cette échelle et avec les données étudiées.

Les commissions organiques et techniques organisées au fil du projet ont bien fonctionné, avec des échanges constructifs, et une aide importante des services du Département, en particulier grâce au suivi d'Isabelle Pochelon, responsable du Service Environnement et levier important dans DECLIC. Cette forte implication du CG26 est apparue aussi bien sur le plan pratique (accès aux acteurs départementaux et à certaines données) que pour l'accueil de plusieurs stagiaires de master travaillant dans le cadre de DECLIC. La production et diffusion scientifique (publication et communication dans des colloques) s'est toujours faite en accord avec le Service Environnement de la collectivité.

Mais la question 3 (sur le volet adaptation) s'est avérée un point de blocage, puisqu'elle dépendait entièrement des échanges et des interactions en provenance d'ateliers et de porter à connaissance prévus à différents niveaux de décision du département, avec l'aval et si possible, la participation d'élus.

Quelques élus départementaux, en charge de dossiers importants impliquant une dimension environnementale (liée au dossier climatique), ont alors exprimé leur sceptiscisme sur les résultats climatologiques et sur les évolutions climatiques issues des modèles numériques du climat, affirmant que ces résultats pourraient être perçus comme « anxiogènes » (et donc implicitement, difficilement communicables aux citoyens) : le programme DECLIC abordait là une limite difficilement contournable pour les actions envisagées autour des capacités d'adaptation !

Ce déterminant complètement abstrait pour un scientifique, lié à l'absence de volonté politique de communiquer et d'accepter des réunions publiques sur le thème du climat (identifié comme potentiellement polémique, surtout en période pré-électorale), a bouleversé l'agenda du projet et les réalisations envisagées initialement. L'opposition non formalisée de quelques élus bloquait l'organisation et le passage du volet scientifique au volet opérationnel (la définition des critères d'adaptabilité). Car pour cela, les propositions d'adaptation devaient émaner d'une interaction étroite avec les élus de la collectivité, et également par le jeu de présentations des résultats scientifiques aux citoyens et/ou à certains groupes (validées par élus) et l'organisation d'un porter à connaissance. Les recommandations envisagées dans DECLIC ne pouvaient avoir un sens que si elles avaient été élaborées, discutées et validées avec le volet politique de la collectivité. Ces étapes n'ont pas été rendu possibles au cours des deux dernières années, car les délais et agendas scientifiques (projet à échéance de quelques mois ou années) ne sont absolument pas ceux de la collectivité partenaire. L'aide à la décision (annoncée initialement dans le projet DECLIC) ne prend un sens que lorsqu'elle touche les décideurs, alors que pour le moment, seuls les services techniques ont été sensibles aux recherches et aux résultats.

Alors que la première partie des résultats (*i.e.* ceux concernant le volet strictement lié à la variabilité climatique) a été présenté au CG26 (via des présentations techniques par des membres du programme, par le biais de synthèse faite par la responsable du Service Environnement auprès de sa hiérarchie, et également par le biais de réunions scientifiques, par exemple la  $17^{\rm ème}$  Conférence départementale de l'environnement «Nature et changements climatiques» (CG-38, novembre 2010), ou encore la réunion de la Zone Atelier Alpes (Lans-en-Vercors, octobre 2012), la suite devenait illusoire sans quitus du volet politique.

Plutôt que de chercher à imposer artificiellement une réflexion sur les mesures d'adaptation (alors même que la notion de changement climatique était réfutée par certains décideurs), l'étude s'est alors réorientée sur les représentations et perceptions du changement climatique par les techniciens, afin de comprendre comment la collectivité pouvait réagir pratiquement, en partant des acteurs des services. On aborde alors des notions (et encore plus, des résultats) qui sont difficilement transposables (notamment au travers d'un rapport de synthèse comme celui-ci), leur objectif premier n'étant pas leur « caractère publiable », « quantifiable » ou encore de produire un énième guide peu adapté aux réalités départementales diverses, mais bien de comprendre les modes de fonctionnement et les attentes de la collectivité, face à la très faible intégration du facteur climatique dans les politiques publiques.

Afin de "contrer cette angoisse" pour un public (quel qu'il soit) qui doit assimiler certains diagnostics climatiques éventuellement source d'inquiétude, plusieurs points de méthode ont donc été listés et devront être relativement appliqués dans la phase de valorisation et communication des résultats scientifiques. Il s'agit par exemple de permettre aux élus et au grand public de **se projeter dans des horizons temporels raisonnables**, c'est-à-dire surtout parler du climat et de sa variabilité sur le court et moyen terme, échéances qui leur permettent d'envisager comment les changements en cours vont modifier leur propre existence (modes d'habiter, de consommer, etc.). Les messages délivrés seront donc surtout orientés sur des phases potentielles d'adaptation pour des scénarios à 2030 ou 2050.

Les autres points délicats concernent par exemple les messages sur les extrêmes (prendre des précautions oratoires et trouver le moment et les média opportuns pour aborder le sujet et développer une rhétorique adaptée), ou encore l'explication de la notion complexe et multiple d'incertitude et de probabilité au sens scientifique. L'objectif final est bien d'éviter une mauvaise communication, source de blocages institutionnels, en établissant un travail sur la rationalisation (contre l'angoisse) et l'objectivation du phénomène en le ramenant si possible à l'échelle individuelle.

Ainsi pour rendre appropriables les analyses et projections climatiques mais aussi l'adaptation, par les élus et le grand public, des messages tels que « *l'adaptation est une question de management et non une question environnementale* » et « *l'adaptation ne demande pas de compétences scientifiques élevées* » doivent être diffusés. Dans tous les cas, il s'agit d'un travail à plusieurs niveaux, entre chercheurs, acteurs, collectivités et individus.

#### La création d'un site web décliné pour l'action de recherche DECLIC

L'idée d'un portail web dédié à DECLIC, et en accès à partir du site internet du CG26, a été évoquée avant et durant le projet. Il n'a jamais pu être développé et mis en œuvre à cause des délais et du cahier des charges complexes qui auraient alors été demandés (avec en particulier la validation du volet politique du CG26, et l'insertion dans la charte et l'outil

numérique de la collectivité, pas conçu pour accueillir des résultats issus de recherche – sans compter que toute la plateforme web du CG26 a été refondée en 2013). La solution d'un site web créé en fin de programme a donc plutôt été finalement retenue par l'équipe DECLIC, dans le cadre du projet V@IDrôme, coordonné par Sandra Rome (LTHE) et défini à la suite de DECLIC, avec pour principal objectif de développer certaines actions opérationnelles (ateliers de restitution, conception et diffusion de plaquettes de vulgarisation scientifique à destination des principaux organismes départementaux, rencontre et échanges avec des élus, ...) qui n'ont pas été possibles durant le projet GICC-DECLIC à cause de différentes inerties techniques et politiques.

Dans le cadre de cette communication et diffusion des résultats/publications issus de DECLIC, et aussi pour pouvoir mettre à disposition certaines données et illustrations numériques, un site web dédié a donc été conçu : <a href="http://declic.ujf-grenoble.fr">http://declic.ujf-grenoble.fr</a>. Il est hébergé par l'OSUG (Observatoire des Sciences de l'Univers) de l'Université Joseph Fourier et est en cours de développement, et fourni par le service informatique du LTHE. Il a pu être réalisé en lien avec le Labex OSUG@2020 (UJF) qui finance l'action de valorisation V@IDrôme.

Outre les informations et synthèses scientifiques du projet DECLIC, l'intégralité des documents produits seront accessibles d'ici fin 2013 (articles, actes de colloques, rapports de master, présentations orales, annuaires des partenaires, sources des données).

- Certaines données (brutes ou traitées) pourront être obtenues uniquement sur demande ou bien en contactant certains partenaires détenteurs des données d'origine, car il n'est pas possible de les mettre en accès libre sur internet, puisqu'elles ont été obtenues par convention inter-établissements (par exemple avec Météo France, le CNRM, la Banque Hydro, le Parc Régional du Vercors, le CG26, l'ONF, etc...).
- Le site renverra vers les liens d'accès pour toutes les données obtenues sans convention (réanalyses climatiques, données satellitaires, couches SIG diverses).
- Les couches d'information ou géostatistiques créées seront, dans la majeure partie des cas, mises à disposition (sauf en cas de refus du CG26 et/ou des partenaires qui ont fourni les données de base).

Pour éviter une trop grande complexité technique et surtout aussi, parce que l'équipe DECLIC n'a pas de webmaster dédié pendant et à l'issue du projet, ces transferts potentiels de données se feront en interaction étroite avec le demandeur.

Un cas spécifique concerne les données issues des enquêtes (celle réalisée en ligne en 2011 auprès des acteurs départementaux du tourisme en collaboration avec l'ADTD (Agence de Développement Touristique de la Drôme), ou celles faites en direct auprès d'échantillons de population) ou par le biais d'entretiens (services techniques du CG26, acteurs forestiers et agricoles, stations de ski, ...). Ces données ne peuvent être mises à disposition directement, aussi bien pour des raisons de confidentialité que pour des raisons techniques. Les données brutes anonymées pourront là aussi fournies sur demande, une fois les attentes précisées (c'est d'ailleurs ce qui a déjà été fait courant 2013, avec le protocole d'un questionnaire fournie à une doctorante, de même que les spécifications techniques et opérationnelles pour mener cette enquête en ligne).

#### Les suites actuelles, dans la continuité de l'action GICC-DECLIC

Comme évoqué précédemment, pour répondre aux blocages institutionnels durant le projet DECLIC qui n'ont pas favorisé la définition de mesures d'adaptation précises (et encore

moins l'étude de leur applications), un projet connexe a été défini (projet V@lDrôme soutenu par le programme Labex OSUG@2020 de l'UJF). Il doit permettre à moyen terme (1 ou 2 ans) de cibler quelques points consensuels permettant de développer des actions concrètes autour de l'adaptabilité au changement climatique. Deux axes thématiques sont développés depuis 2013 : 1) les espaces forestiers et le changement climatique en Drôme, avec en particulier l'exemple représentatif de la forêt de Saoû; 2) la vulnérabilité de certaines populations face aux changements climatiques, avec les impacts sur la santé des enfants et des personnes âgées.

L'objectif du CG26 est de pouvoir soutenir et cofinancer une thèse CIFRE sur ce dernier sujet au cours de l'année 2014, en lien avec l'équipe des chercheurs issues de DECLIC (plusieurs réunions organiques sont en particulier prévues fin 2013 pour programmer ces échéances). En prévision, plusieurs actions sont en cours afin d'informer sur les résultats issus de DECLIC et aussi pour associer les gestionnaires, les structures départementales et les élus en charge de ces questions (cf. exemple suivant).

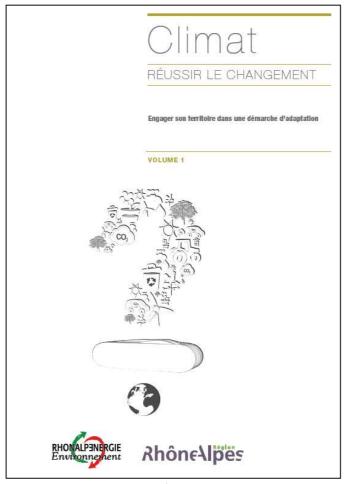
Figure 30: Exemple du prototype d'une plaquette (côté recto) en cours de réalisation par l'équipe DECLIC, et qui sera distribuée fin 2013 dans différents services du département de la Drôme, en lien avec le secteur de la santé: un protocole d'enquête sera lancé en 2014 afin de déterminer comment analyser les relations saisonnières entre épisodes météorologiques et impacts sanitaires, dans un contexte de changement climatique.

Ce projet est mené à la suite de DECLIC, en lien avec les services 'Environnement' et 'Direction des Solidarités' du CG26. L'ensemble des PMI (Protection Maternelle Infantile), des médecins référents du département ainsi que la Direction 'Personnes Agées' est également associé.

Un travail équivalent est également en cours d'élaboration à l'échelle de l'Espace Naturel Sensible de la forêt de Saoû sur la question de la vulnérabilité des espaces préservés.



#### 3.2 DIFFUSION DE LA CONNAISSANCE : GUIDE A DESTINATION DES COLLECTIVITES



**Figure 31 :** Guide « Climat, réussir le changement volume 1 », publié en juillet 2012

Un guide en deux volumes « CLIMAT : réussir le CHANGEMENT » a été réalisé. Le 1<sup>er</sup> volume a été publié en mai 2012 à 800 exemplaires et le second volume, en cours de maquettage, a été publié en mai 2013 à 250 exemplaires.

Le **premier volume**, publié en mai 2012 (figure 8), s'attache à répondre aux principales questions que se posent les décideurs au moment d'engager leur réflexion effets l'adaptation aux du changement climatique au sein de leur collectivité, ou sur leur territoire. Il donne à réagir pour agir et présente les points clés pour imaginer les principales étapes d'élaboration d'une stratégie d'adaptation effets du aux changement climatique.

Le **second volume**, publié en mai 2013, s'attache à répondre aux principales questions que se posent les décideurs et leurs chargés de missions engagés dans l'élaboration de stratégies pour l'adaptation du territoire et de la collectivité aux effets du changement climatique. Il donne les clés pour comprendre la question climatique en détail et organiser les étapes d'une démarche participative, visant à inciter les acteurs du territoire à contribuer par l'action.

Ces productions seront diffusées dans le réseau du GRAACC et adressées sur demande. Elles seront prioritairement distribuées à l'issue de réunions de sensibilisation, aux participants élus et techniciens susceptibles d'engager une démarche sur leur territoire. Par ailleurs, elles sont accessibles à tous sur Internet, **téléchargeables aux adresses suivantes** <a href="http://www.ddrhonealpesraee.org/">http://www.raee.org/</a>.

Une communication par mailing a largement informé de la publication de ces outils les élus et techniciens des collectivités territoriales de Rhône-Alpes, les membres de RAEE et de ses réseaux régionaux (GRAACC, CVTDS, Urbanisme et développement durable...).

De façon complémentaire, et à l'initiative de RAEE, un troisième volume du guide a été rédigé. Il fournit, sous forme de fiches, des éléments de compréhension scientifique du changement climatique. Il est donné en annexe du présent rapport et sera bientôt disponible sur les sites mentionnés ci-dessus.

#### 3.3 ANALYSE DU LIEN COLLECTIVITES/CHERCHEURS

Étant donné le nombre de personnes sollicitées pour le remplissage des questionnaires (16 au total, 3 réponses à l'enquête en ligne, et 5 au questionnaire final), les résultats n'avaient pas vocation à être statistiquement exploités. Il est cependant intéressant de les analyser sur le plan qualitatif. Les *verbatims* recueillis permettent ainsi de dégager plusieurs pistes d'amélioration et de réflexion.

#### Estimer correctement la charge nécessaire à la coordination

Tout d'abord, il ressort des questionnaires un manque de visibilité des acteurs sur ce qui s'est fait dans le cadre des autres volets du projet ECCLAIRA. Les témoignages sont en ce sens nombreux et proviennent aussi bien des collectivités que des centres de recherche : « Nous n'avons aucune visibilité sur l'avancement du projet ECCLAIRA », « Thématique trop large, d'où peu d'interaction entre les équipes et une visibilité pas assez claire », « La recherche appliquée développée dans le projet a fourni des résultats au cadre ECCLAIRA, l'inverse n'étant pas valable », « Fonctionnement scientifique et technique relativement autonome, sans avoir finalement intégré l'enveloppe théoriquement plus générale représentée par ECCLAIRA », « Les chercheurs du volet DECLIC n'ont pas compris comment le programme ECCLAIRA pouvait publier un guide (...) alors même que les phases de recherche n'étaient pas du tout achevées ».

Pourtant, plusieurs réunions de coordination ont été organisées par RAEE tout au long du projet (le 11 mai 2010 sur les thèmes de la sensibilisation au changement climatique, l'analyse de la vulnérabilité et des opportunités d'un territoire face au changement climatique et les connaissances du changement climatique sur un territoire donné. Cette réflexion rejoignait à la fois le travail de rédaction des guides menés par RAEE et les expérimentations menées sur la Drôme; à la suite de la réunion du 22 février 2011, création d'un comité de lecture (mais seul le Conseil général a souhaité participer à ce comité) pour la rédaction des guides sur le changement climatique ; réunion de ce comité le 16 juin 2011 puis le 7 octobre 2011 et le 23 avril 2012 ; plusieurs webinaires de coordination ...) mais le peu de disponibilité des acteurs (de nombreuses réunions ont dû être annulées ou se sont tenues avec un effectif très restreint)et le peu de temps à passer sur le projet côté RAEE (8 jours maximum par année pour la coordination ) n'ont pas permis de créer un lien suffisamment fort entre les différentes équipes du programme. L'un des membres du projet mentionne en complément, à propos d'un projet précédent, « notre 1ère expérience (ndlr : de partenariat collectivité/chercheurs) était un projet avec davantage de moyens, où notamment un poste de coordinateur à plein temps avait été prévu pour faire le relais entre tous les partenaires, ce qui facilitait grandement la tâche de chacun. »

Ainsi, le **rôle du coordinateur d'un tel programme est primordial** et sa charge de travail doit être dès le départ correctement estimée sans oublier de prévoir un budget pour les frais de déplacement

Au-delà de ce lien de coordination entre les acteurs du programme, les retours d'expérience collectés mettent également en évidence la **nécessité d'une coordination interne à chaque sous-projet**. Ainsi, les acteurs du volet Végétalisation ont ressenti de part et d'autre une carence en termes de gestion de projet. Cela se traduit par un manque de visibilité du calendrier et des livrables du projet, ainsi qu'un défaut de communication : « Nous n'avons

rencontré des interlocuteurs qu'en phase amont pour obtenir l'autorisation de venir dans nos locaux », « Pourrait-on avoir le rendu des études (ndlr : scientifiques)? », « La relation collectivité/chercheur a été quasiment inexistante en ce qui concerne la partie toiture végétalisée ». Ceci peut s'expliquer par le fait que la Ville de Lyon, qui était à l'initiative du volet Végétalisation, s'est mise en retrait puisqu'aucun de ses sites n'avait pu être retenu pour les expérimentations, alors que ceux du Grand Lyon convenaient mieux. RAEE a tenté de pallier ce manque : « Le partenariat a été mis en place grâce à la RAEE qui s'est assuré de la bonne connexion entre les différents services du Grand Lyon et les laboratoires de recherche », mais une collaboration directe recherche – collectivité est préférable.

Pour appuyer ce point, le **bon dimensionnement de l'implication de la collectivité** dans un partenariat de ce type a été souligné par les deux collectivités consultées et semble primordial, notamment concernant l'estimation du temps nécessaire à la mise en place et à la gestion du partenariat, de l'ordre de« 25 à 30% du temps passé sur le projet» d'après le Conseil général de la Drôme, et « 30% » selon la Ville de Lyon. Les collectivités soulignent également le besoin d'avoir **un seul contact côté chercheurs**, afin de faciliter la transmission d'informations.

#### La problématique des enjeux, « parler vrai »

Dans le cadre de la mise en place de ces partenariats, il faut être conscient que **les enjeux de part et d'autre peuvent être très différents**. D'un côté, la collectivité cherche à prendre action rapidement, dans le cadre d'un mandat à durée déterminée. De l'autre, le monde de la recherche, qui suit une méthodologie très précise, a besoin de temps pour analyser la problématique, réaliser une revue de la littérature, publier des résultats intermédiaires pour en tirer une légitimité scientifique, mener ses recherches, tout en assurant bien souvent des activités enseignantes en parallèle. Ces différences se ressentent fortement dans les réponses des partenaires, même dans un projet comme DECLIC, qui a pourtant très bien fonctionné : « le projet a montré que les échanges entre les scientifiques et les collectivités ne sont parfois pas toujours évidents, entre développements à vocation scientifique et réponses attendues à un problème réel. »

Concernant le **temps imparti au projet**, les avis divergent également. Les chercheurs soulignent le fait que « 3 ans est un minimum, 6 ans permet d'approfondir correctement un sujet de recherche », alors que pour une collectivité, un projet sur 3 ans semble « plutôt adapté, compte tenu du temps nécessaire à la mise en œuvre réelle ; au-delà, il y a risque d'essoufflement. » Autre point remarquable, toujours concernant le calendrier, mentionné par l'équipe de chercheurs de DECLIC : « les travaux de recherche sont fortement associés au calendrier universitaire, et notamment à la présence d'étudiants stagiaires en 3ème cycle sur la période mars-juillet, ce qui ne correspond pas forcément aux agendas des collectivités »

Au final, « les chercheurs ont du mal à publier scientifiquement des résultats qui leur semblent très partiels, et la collectivité aimerait que les messages délivrés soient plus simplifiés et facilement appropriables par les élus. »

Ainsi, une **confrontation des enjeux doit avoir lieu**, afin que les objectifs soient clairs entre les deux parties. Cette confrontation est absolument indispensable pour la mise en place d'un plan d'actions et d'un calendrier partagé et validé par les deux parties. Le Conseil général de la Drôme souligne la nécessité de « parler vrai » et mentionne « qu'il faut être très clair dès le départ sur les enjeux de chacun ».

#### Un point sur le vocabulaire pour mieux se comprendre

Les retours d'expérience d'ECCLAIRA mentionnent également les difficultés de compréhension entre les acteurs, liées essentiellement au vocabulaire employé et à sa signification de part et d'autre. Cela, particulièrement dans le cadre de l'adaptation au changement climatique, doit être clarifié dès le départ, en même temps que les enjeux. Le Conseil général de la Drôme donnait le 20 novembre 2012, lors de sa présentation au GRAACC, l'exemple du mot « prédiction » compris différemment par un élu et un scientifique. Le mot « incertitude » peut également faire peur à un décideur, alors qu'il est communément utilisé par un scientifique, avec une signification bien précise.

Ainsi, il faut prendre le temps, au début du projet, d'échanger sur les enjeux et le vocabulaire à employer (« apprentissage linguistique nécessaire »), mais aussi sur les résultats finaux attendus, notamment par les élus locaux. Le laboratoire LTHE le souligne clairement : « Un point essentiel qui n'a pas été résolu (et anticipé) dans DECLIC est de cerner précisément et concrètement les besoins prioritaires des élus en matière de l'étude du climat et du changement climatique, afin de pouvoir fournir ensuite aux élus un message d'une part compréhensible mais aussi d'autre part peu anxiogène. »

#### Mieux préparer le projet en amont

Afin d'éviter certains écueils dans la mise en place du projet, il est important de bien s'assurer de l'engagement de tous les acteurs avant le dépôt de candidature, car les expériences d'ECCLAIRA ont montré de nombreuses difficultés à cet égard. Ainsi, il faut « s'assurer de l'accord de tous les partenaires, et être sûr dès le démarrage des sites d'expérimentation ». Cela n'a pas été toujours le cas sur ECCLAIRA. L'INSA de Lyon le reconnait a posteriori : « Nous avons été sollicités par RAEE pour venir rejoindre le projet ECCLAIRA qui avait déjà été largement défini auparavant, afin de mettre en place le suivi expérimental d'une toiture végétalisée prévu dans le projet. » et la collectivité le précise également : « La principale difficulté venait du problème initial : un des partenaires principaux n'avait finalement pas validé son engagement dans le projet, il a fallu le faire a posteriori. ».

Concernant la définition du contenu des projets et la coordination du programme global, ils doivent être précisés également en amont du projet, autant que possible. On l'a vu, le choix des sites d'expérimentation d'un côté et le cadrage du périmètre de DECLIC de l'autre, ont engendré des retards significatifs dans le déroulement du projet. « Le cahier des charges devrait également être mieux construit, avec une gouvernance globale et des responsabilités plus clairement identifiées, et avec un thème phare à étudier et à approfondir, pour éviter une perte finale de cohérence. »

A noter que le Conseil général de la Drôme souligne le **temps passé sur le montage** du dossier de réponse à l'appel à projet, qui a duré presque un an, et dont le financement n'est pas prévu dans ce type de montage. Ce qui est un véritable frein aux réponses de ce type par les collectivités, particulièrement sur l'adaptation au changement climatique, qui implique presque toujours des projets complexes et difficiles à définir.

De plus, le **délai de réponse suite au dépôt des dossiers**, d'un an dans le cadre de l'appel à projets du GICC de 2008, a été très pénalisant pour les deux expérimentations. La Ville de Lyon mentionne explicitement que l'« annonce tardive des lauréats de l'appel à projets a été

particulièrement pénalisante sur le choix des sites d'expérimentation ». De même, dans la Drôme : « Une seconde difficulté provient de l'inertie administrative et financière du lancement du projet, qui a conduit à un flou initial et qui a conduit à la perte pratique des 6 premiers mois du projet. En effet, le premier refus du projet émis par le GICC en 2008 a totalement déstructuré les équipes réunies autour du programme, notamment les chercheurs du volet DECLIC provenant de 3 laboratoires et ayant par ailleurs logiquement entamés d'autres collaborations entre 2008 et 2009. L'acceptation du GICC finalement enregistrée en 2009, accompagnée d'une forte inertie administrative (convention tripartite et engagement budgétaire) a contribué à créer un contexte perturbé au lancement du projet et des différentes phases associées. »

Enfin, les chercheurs ont dû abandonner une partie de leurs propositions faute de financement adéquat. Le volet financement doit également être correctement évalué, et cela est souvent difficile sur des thématiques comme l'adaptation au changement climatique. Les verbatims recueillis auprès des centres de recherche permettent de préciser ce point. Pour le LGCIE, « notre proposition d'extension du projet au volet qualité des eaux rejetées par la toiture n'a pas pu être retenue pour des raisons financières. De même que notre souhait de pouvoir procéder à un suivi comparatif de la toiture végétalisée par rapport à une toiture classique, qui aurait apporté un plus au projet initial, mais aurait nécessité un investissement largement supérieur aux enveloppes initialement prévues. ». Idem pour le LOCIE: « La problématique du comportement des composants d'enveloppe végétalisés et de leur impact sur le bâtiment et le quartier est complexe et nécessite des recherches approfondies. Ce type d'étude, bien que plébiscitée par les collectivités locales, a beaucoup de mal à trouver des sources de financement (...). Un soutien plus conséquent à cette partie du projet aurait été nécessaire. » Quant au LTHE : « Une troisième difficulté, non prise en compte dans la construction initiale du budget de DECLIC, et que 20 % de la somme allouée a été absorbée par les prélèvements de l'Université et du laboratoire d'accueil, ligne budgétaire non anticipée (à cause de la limite imposée du seuil de 4 % de frais généraux dans la fiche financière GICC). Cela a donc conduit à la réduction ou l'abandon de projets, analyses et productions initialement envisagés. »

Enfin, pour faciliter le partenariat collectivité-chercheur sur le plan administratif, il est suggéré par l'une des personnes interrogées de « préparer des **conventions "type"** » afin de simplifier les démarches, notamment dans le cas d'embauche de stagiaires.

#### Un partenariat collectivités/chercheurs nécessaire sur l'adaptation

Pour les chercheurs, à l'unanimité, « la collaboration à travers ce projet est jugée positive car elle a permis d'identifier des problématiques de terrains posées par les opérationnels. (...) cette expérience a été très enrichissante et ce type de projet devrait être amené à se développer dans le futur sur les problématiques du monde urbain. », « Le thème de recherche principal porté par ce programme a permis aux différents intervenants de mieux se positionner et de s'impliquer dans la réflexion menée localement et régionalement sur les relations entre recherche, collectivités, décisions et actions, tout en cherchant à valoriser une part de leurs analyses en les confrontant aux gestionnaires et aux services techniques des collectivités. ».

Pour les collectivités également, elles sont d'ailleurs prêtes à renouveler l'expérience et à partager les résultats avec d'autres collectivités, « pour le côté exemplaire », et « parce qu'ils répondent à des questions d'actualité que de nombreuses collectivités se posent. »

### 4. Discussion

De ces résultats et retours d'expérience du projet ECCLAIRA, il est possible de dégager plusieurs pistes de réflexion.

#### La collaboration collectivités/chercheurs

D'abord, la nécessité d'une collaboration entre collectivités et chercheurs sur le sujet de l'adaptation au changement climatique est confirmée par les trois volets du projet ECCLAIRA. D'un côté, les collectivités ont besoin de disposer de messages simples sur le changement climatique, basés sur des faits concrets, mesurés et validés scientifiquement, au niveau de leur territoire. De l'autre côté, les centres de recherche ont besoin de terrains d'expérimentation pour valider une partie de leurs recherches, et gagnent à travailler en situation réelle, sur des besoins exprimés localement.

Ainsi le sujet de l'adaptation au changement climatique appelle la collaboration entre collectivités et chercheurs, puisque beaucoup de thématiques sont encore du domaine de la recherche. Stéphane Labranche, titulaire de la Chaire Energie-Climat de l'Institut d'Études Politiques de Grenoble, et fortement impliqué dans le volet adaptation du Plan Climat-Énergie Territorial du Grésivaudan, mentionnait lors de la réunion du GRAACC du 20 novembre, que « l'on est, sur l'adaptation, à un niveau de connaissance identique à celui de l'atténuation il y a dix ans ». On le voit bien sur les travaux menés dans la Drôme : aujourd'hui les données scientifiques sont encore insuffisantes, surtout dans la descente d'échelle. Des études d'impact locales doivent donc être réalisées pour que les territoires puissent engager leurs démarches d'adaptation. Le besoin d'aller chercher les réponses dans la science est manifeste, car les méthodes de travail ne sont pas encore toutes développées.

Les avantages de cette collaboration pour les collectivités sont réels. D'abord, les agents des collectivités sont à la recherche de preuves scientifiques qui leur permettent d'appuyer leur discours relatif au changement climatique auprès des élus et des décideurs locaux. Ils ont besoin de données locales d'observation des phénomènes passés et présents concernant le changement climatique (graphiques, courbes, tableaux) issues de mesures et de projections scientifiques validées et cautionnées par des organismes reconnus à l'échelle nationale (laboratoires de recherche, Météo France etc.). Cet appui scientifique est nécessaire pour convaincre les acteurs des territoires de l'importance du changement climatique : 46% des acteurs interrogés dans la Drôme pensent que l'impact du changement climatique sera faible sur leur activité à moyen terme, alors le diagnostic de DECLIC annonce une hausse des températures de +1,5°C à +1,7°C à l'horizon 2020-2050 pour le département, et que l'on approche des +2°C, limite au-delà de laquelle il faudra s'attendre à des changements irréversibles, sur l'eau et la biodiversité, et donc sur les activités humaines. Il y a donc nécessité au niveau local de démontrer que le changement climatique existe bel et bien, de passer de la notion de perception à la démonstration scientifique.

En complément, il est également important pour les collectivités d'obtenir une validation scientifique relative aux actions d'adaptation au changement climatique. Un engagement

financier quel qu'il soit ne peut se baser sur de simples présomptions et les hypothèses relatives aux solutions à apporter face au changement climatique doivent être confirmées.

#### La nécessité de travailler en mode projet transversal

L'adaptation au changement climatique est un **sujet multidimensionnel**, qui touche diverses thématiques, à la fois climatiques, mais aussi environnementales (eau, biodiversité, risques naturels) et socio-économiques (santé, agriculture, élevage, foresterie, tourisme, industrie...). Cela nécessite donc des compétences multiples, qui doivent travailler ensemble de manière **transversale**. Or cela ne correspond pas aujourd'hui, ni aux modes d'organisation des différentes collectivités, dont les services sont sectoriels, ni au fonctionnement des centres de recherche, qui ont également des domaines de responsabilité bien précis, souvent liés à des thématiques (environnementales, climatiques, socio-économiques...).

L'adaptation au changement appelle également à **travailler en mode projet**. La question de la coordination de ces projets ou programmes doit être posée, car l'expérience d'ECCLAIRA le souligne : le pilotage à différents niveaux est nécessaire car il permet le partage et l'échange d'informations entre différentes équipes, et cela est un élément clé à la bonne marche des projets liés à l'adaptation au changement climatique.

#### La validation scientifique et l'importance du réseau

La valorisation scientifique des travaux menés, attente principale des collectivités sur les expérimentations conduites, a été réalisée de manière classique sur ECCLAIRA. Elle nécessite souvent le partage d'informations entre les acteurs et la reconnaissance par un réseau de scientifiques experts sur le sujet. Pour le volet végétalisation, chaque étape du développement des outils de calcul a été validée à partir de cas tests trouvés dans la littérature scientifique et de résultats de mesures effectuées sur site dans le cadre du projet. Concernant le volet hydrologique, le LGCIE a procédé de la même manière que pour les autres dispositifs expérimentaux qu'il gère : étalonnage systématique des capteurs, analyse des données aux échelles hebdomadaires ou bimestrielles, estimation des incertitudes de mesure, analyse critique et validation des données avant exploitation. Quant à DECLIC, les résultats, émis sous forme de publication, sont validés via le système d'expertise scientifique habituel (relecture, validation par les pairs, ...).

Ainsi, la mise en place de politiques d'adaptation au changement climatique, à l'heure actuelle, nécessite la **disponibilité d'un bon réseau d'acteurs**, scientifiques et experts, capables d'avoir une vision transversale de leurs activités, sous l'angle du changement climatique. En ce sens, un regroupement des compétences au niveau régional peut être particulièrement bénéfique au développement des connaissances territoriales liées à l'adaptation au changement climatique.

Dans les trois projets portés par ECCLAIRA, de nombreuses interactions ont eu lieu entre les équipes et des partenaires extérieurs. Pour le volet végétalisation, des échanges ont eu lieu avec l'Institut de la Montagne (Université de Savoie) par rapport à la métrologie mise en œuvre, cet institut bénéficiant d'une grande expérience concernant le monitoring de milieu naturel. Dans le cadre de DECLIC, les échanges ont en particulier porté sur le recueil de séries et des métadonnées, sur des méthodes et l'analyse des données (météorologiques,

climatiques, hydrologiques, agronomiques,...). Ces échanges scientifiques se sont fait la plupart du temps via des conventions cadre (par exemple avec Météo-France) ou bien grâce à des échanges informels avec des organismes départementaux ou nationaux. Un autre type d'intervention a été sollicité dans la phase finale du volet DECLIC, concernant la valorisation des résultats scientifiques. Il concerne notamment le recours à des spécialistes de l'écriture et de la vulgarisation scientifique, et à des infographistes pour la production de documents de synthèse. Enfin, pour la rédaction du guide « climat, réussir le changement », RAEE a fait appel à de nombreuses collectivités mais aussi d'autres acteurs de la Région pour leur retour d'expérience sur des démarches engagées, sur les territoires d'une part, mais aussi sur des points particuliers de connaissance. Par exemple, l'agence d'urbanisme de la région grenobloise a été sollicitée sur une question concernant les îlots de chaleur urbains, Météo France sur la question des descentes d'échelle, la chambre régionale d'agriculture sur la vulnérabilité du secteur d'activité, le Réseau d'Education à l'Environnement en Montagne dans les Alpes (REEMA) sur les manifestations en direction du public concernant le climat, ....

#### Autres sujets de réflexion

Enfin, au-delà de ces pistes de réflexion, d'autres éléments liés à la mise en place de politiques d'adaptation, issus des discussions menées autour du projet ECCLAIRA, présentent un intérêt suffisant pour être mentionnés dans ce rapport :

- Il est apparu important, dans le cadre du projet DECLIC, dans l'objectif d'apporter des preuves scientifiques aux impacts du changement climatique au niveau local, d'inclure en fin de parcours (mais cela aurait dû être fait avant) des chercheurs en sciences sociales afin de travailler sur « l'adaptabilité » du territoire, la construction d'un discours non anxiogène, d'un modèle économique crédible et d'un argumentaire socio-économique. Ceci afin de convaincre les élus et le grand public de la nécessité de s'adapter, voire de « muter » vers un modèle de territoire différent si nécessaire, tout en adoptant un discours non anxiogène.
- Les questions du financement et du pilotage des programmes d'expérimentation nécessaires à la mise en place des politiques d'adaptation se posent. Les collectivités locales ne sont pas toujours dotées des budgets ni des ressources nécessaires à la mise en place de ce type de projets, longs à mettre en place et nécessitant des investissements humains et économiques importants.

## 5. Conclusion

Si le découpage d'ECCLAIRA en trois volets a rendu la coordination complexe et n'a pas permis de réels échanges entre les différents acteurs, l'une des richesses de ce programme réside dans le suivi de la collaboration entre équipes de recherche et collectivités locales sur le thème de l'adaptation au changement climatique, et les enseignements qui en découlent.

La collaboration entre collectivités et chercheurs semble indispensable si l'on veut passer d'un concept de « changement climatique » relativement vague à des représentations concrètes, des chiffres, des graphes, des mesures que le territoire peut s'approprier, pour démontrer que le changement climatique existe bel et bien, et que des solutions éprouvées existent. La nécessité de travailler la communication, notamment à destination des élus et

du grand public, est également importante : les mots, concepts, exemples doivent être représentatifs de la réalité locale et rassurants plutôt qu'anxiogènes.

Les travaux menés dans le cadre de ce projet ne s'arrêteront pas fin 2013 puisque les uns poursuivront leur travail de recherche, les autres le travail de sensibilisation et d'information.

Ainsi, la collaboration sur les deux sites végétalisés instrumentés, entre le Grand Lyon et les laboratoires de recherche impliqués se poursuivra jusqu'à fin 2013 et permettra de recueillir des données sur quatre saisons afin d'approfondir les analyses et avoir une vision plus fine des impacts des toits et des murs végétalisés dans les zones urbaines, notamment sur l'atténuation des pics de chaleur et la régulation de l'eau. Grâce à ces expérimentations et à la modélisation rendue possible par la confrontation avec des données réelles, les maîtres d'ouvrage pourront bénéficier de règles de dimensionnement, en particulier pour une meilleure gestion des eaux pluviales. L'ensemble de ces recherches sur la végétalisation en zone urbaine permet d'amplifier les connaissances de la collectivité et de la conduire à développer les murs et façades végétalisés pour répondre à de nombreux enjeux urbains liés au changement climatique.

Quant au partenariat engagé entre le Conseil général de la Drôme et les équipes de recherche de DECLIC, il se poursuivra au-delà du projet ECCLAIRA. Les différentes réunions techniques, tables rondes, « porter à connaissance » ont permis aux chercheurs de mieux cibler les besoins de la collectivité tout en ayant une connaissance plus fine du fonctionnement de cette dernière. Les résultats des expérimentations vont permettre une aide à la décision quant à la mise en place d'une stratégie d'adaptation au changement climatique sur le territoire. Plus généralement, les travaux de DECLIC se sont intégrés à des recherches plus générales portant sur l'interface hommes/milieux (impact du changement climatique et gestion de l'eau notamment). Ils ont également permis de nourrir les études sur la géo-gouvernance des territoires, le transfert de la connaissance entre acteurs du territoire, et notamment entre scientifiques, décideurs et société civile.

Au-delà de ces résultats, plusieurs suites possibles au projet DECLIC sont envisagées. La faisabilité d'une collaboration/mutualisation pourrait être explorée afin d'aller plus loin dans la prospection des impacts du changement climatique. Par exemple, le Conseil général et la Chambre d'agriculture pourraient organiser des enquêtes auprès des exploitants de lavande/lavandin, afin de créer une base de données fiable et complète. A ce stade, la communication et la diffusion du travail réalisé dans le cadre de DECLIC est nécessaire, pour rendre concret les impacts du changement climatique en cours, pour mieux s'y adapter et aller plus loin dans l'information des élus, des techniciens et des partenaires. C'est l'objectif du projet de valorisation V@IDrôme (financé par le programme LabEx OSUG<sup>5</sup>@2020 de l'Université Joseph Fourier, et coordonné par le LTHE) qui a démarré fin 2012.

Engager une réflexion multisectorielle sur le modèle de développement souhaitable pour les espaces montagnards de la Drôme est également un axe important, afin de dégager les capacités de réorganisation du territoire et, par conséquent, la capacité de réponse des politiques publiques. Cela pourra passer par la réalisation d'un « porter à connaissance »

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Observatoire des sciences de l'Univers de Grenoble

(courant 2013) à destination des élus et des acteurs publics du département de la Drôme (forum de restitution et tables rondes) et portant sur la vulnérabilité départementale aux changements climatiques, ou encore la conception et diffusion d'une plaquette de vulgarisation scientifique à destination des principaux organismes départementaux intervenant dans les domaines du tourisme, de la ressource en eau et de l'agriculture, ou bien également la réalisation et la mise en ligne d'un site web mettant à disposition l'ensemble des résultats et des données scientifiques obtenus par le programme GICC-DECLIC.

Enfin, la diffusion des deux volumes du guide permettra de montrer l'implication des élus au niveau régional et contribuera à la sensibilisation, l'information et le renforcement des capacités d'adaptation des collectivités locales, qu'elles aient ou non participé à ce projet. Ce guide élaboré dans le cadre d'ECCLAIRA fait partie d'une mallette d'outils à destination des collectivités, qui comprend par ailleurs le premier guide sur le changement climatique publié par Rhônalpénergie-Environnement en 2007, ainsi que des fiches d'explications scientifiques. Une bibliographie documentée d'outils ressources est également prévue et d'autres documents pourraient venir la compléter en fonction des besoins d'informations et d'outils méthodologiques des collectivités. Le GRAACC va poursuivre ses travaux afin de maintenir une veille sur l'actualité du changement climatique et sur les besoins des différents acteurs rhônalpins. Ces différentes actions contribueront à préparer le territoire à s'adapter pas à pas au changement climatique en accompagnant les élus et les services techniques dans la définition et la mise en place de stratégies d'adaptation au changement climatique.

Enfin et pour conclure, les expériences menées dans le cadre d'ECCLAIRA et les réflexions issues de ce programme montrent que les partenariats entre collectivités et chercheurs fonctionnent et sont indispensables au développement et à l'assimilation des connaissances sur le changement climatique. Ainsi, il est très probable que les partenariats entre collectivités et chercheurs se développent fortement autour de ce sujet de l'adaptation au changement climatique. Ils devront donc continuer à trouver des sources de financement et des modes d'organisation et de coordination adaptés.

## Liste des sigles utilisés dans ce rapport

CERTU : Centre d'Études sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques

DECLIC: Drôme: Eau, CLimat, Impacts liés aux Changements

ECCLAIRA: Evaluation du Changement Climatique, ses Adaptations et Impacts en Rhône-

Alpes

GICC: Gestion et Impacts du Changement Climatique

GRAACC: Groupe de Réflexion et d'Actions sur l'Adaptation au Changement Climatique

INSA: Institut National des Sciences Appliquées

LGCIE : Laboratoire de Génie Civil et d'Ingénierie Environnementale

LOCIE : Laboratoire d'Optimisation de la Conception et d'Ingénierie de l'Environnement

LTHE: Laboratoire d'études des Transferts en Hydrologie et Environnement

RAEE: Rhônalpénergie-Environnement

REEMA: Réseau d'Education à l'Environnement en Montagne dans les Alpes

SCAMPEI : Scénarios Climatiques Adaptés aux zones de Montagne : Phénomènes extrêmes,

Enneigement et Incertitudes

SRCAE: Schéma Régional Climat-Air-Énergie

OSUG: Observatoire des sciences de l'Univers de Grenoble

# Table des illustrations

## Figures

mur végétalisé de Perrache (source LOCIE)
Figure 3 : Carte de relief du département de la Drôme (source Conseil général de la Drôme) 13
Figure 4 : Evolution des transferts thermiques des murs végétaux du site de KFC Mur Nord : Sans végétaux : déperdition calorifique ; avec végétaux : déperditions et déphasage Mur Sud : Sans végétaux : apports solaires forte amplitude ; avec végétaux : perte de l'apport solaire
Figure 5 : Evolution de la vitesse du vent, du rayonnement global et de l'écart des températures apparaissant à différentes hauteurs (sondes à 6 et 12 mètres) pour une journée type (source LOCIE)
Figure 6 : Structure du modèle du mur végétalisé de KFC
Figure 7 : Conception de la modélisation du couvert végétal21
Figure 8 : Interface sous EES du modèle 1D pour les murs végétaux22
Figure 9 : Comparaisons entre les comportements thermiques observés et simulés pour le site de Perrache en période estivale
Figure 10 : Taux de disponibilité des données de débit et de pluviométrie (appareils LGCIE) de septembre 2012 à août 2013. Les débits sont mesurés au pas de temps de 1 minute et les intensités de pluie sont calculées au pas de temps de 1 minute à partir des basculements horodatés des augets
Figure 11: Représentation des 163 événements pluvieux enregistrés sur la toiture végétalisée
Figure 12 : Distribution et histogramme des hauteurs précipitées24
Figure 13 : Distribution et histogramme des durées des événements pluvieux
Figure 14 : Débit (L/h) mesuré par le débitmètre et intensité des pluies (mm/h) mesurée par le pluviographe du 1 <sup>er</sup> avril au 30 avril 201326
Figure 15 : Volume cumulés reçu par la toiture et restitué vers les débitmètres du 1 <sup>er</sup> au 30 avril 201326
Figure 16 : Température du substrat de la toiture (données LOCIE) du 1 <sup>er</sup> au 30 avril 2013 27
Figure 17 : Volumes cumulés reçu et restitué vers les débitmètres du 1 <sup>er</sup> au 30 novembre 2012
Figure 18 : Hauteur restituée en fonction de la hauteur précipitée pour les 160 événements mesurés de septembre à mai 201329
Figure 19 : Evolutions des trois principaux types de régimes nivologiques (« très enneigé » en bleu ; « normalement enneigé » en vert ; « peu enneigé » en rouge) calculés à partir des moyennes des stations de montagnes du département de la Drôme antérieures à 1986 (à gauche) et postérieures à 1986 (à droite) ; résultats obtenus dans le cadre du volet DECLIC. 31

Figure 20: Les principales stratégies d'adaptation des stations de ski de la Drôme33
Figure 21 : Le "cône des possibles", un outil de réflexion pour évaluer les différentes trajectoires de développement territorial envisageables (adapté pour la Drôme d'après une méthodologie de Marcelpoil et François, 2008)
Figure 22 : Schéma systématique simplifié résumant la transition vers un nouveau modèle de développement territorial pour le tourisme hivernal et les stations de moyenne montagne drômoises
Figure 23 : Exemple des fréquences thermiques observées et simulées sur la période de référence 1961-1990 et le moyen terme (2021-2050), selon le scénario A1B - données issues du modèle ALADIN : en haut, pour une commune de la montagne drômoise, la commune de Valdrôme ; en bas, pour une commune de la plaine provençale drômoise, la commune de Montélimar
Figure 24 : Anomalies des températures moyennes annuelles prévues à moyen (2021-2050) et long terme (2071-2100) selon les projections du modèle ALADIN et en fonction du scénario A1B (calculées à partir des 12 points de grille de référence retenus dans la Drôme et correspondant à des stations de validation) par rapport à la période de référence 1961-1990 ; l'intervalle grisé correspondant à la marge d'incertitude des projections selon les évolutions prévues par le scénario climatique A2 (le plus pessimiste) et B1 (le plus optimiste) du GIEC ; résultats obtenus dans le cadre du volet DECLIC
Figure 25 : Statistiques descriptives des Tn (à gauche) et des Tx (à droite) d'un indice préalpin estival (JJA), pour la période actuelle (1961-90), le futur proche (2021-2050) et le futur lointain (2071-2100), obtenues pour les données simulées du modèle Aladin (Météo-France) et le scénario A1B du GIEC
Figure 26 : Evolution des Tn et Tx de l'indice préalpin estival (données issues de 15 stations de la grille SCAMPEI en JJA), pour la période actuelle (période 1961-90), le futur proche (2021-2050) et le futur lointain (2071-2100), obtenues pour les données simulées du modèle Aladin (Météo-France) et le scénario GIEC-A1B.
Figure 27 : Variation des températures estivales les plus chaudes (90 <sup>ème</sup> percentile) entre le présent (1961-90) et le futur (2021-2050 ainsi que 2071-2100), pour les TN et les TX selon 3 classes d'altitude calculées dans les Préalpes
Figure 28 : Cartographie résumant les principaux types d'évolutions climatique perçus par les professionnels du tourisme ayant répondu à l'enquête lancée en 2011 dans le département de la Drôme ; résultats obtenus dans le cadre du volet DECLIC
Figure 29 : Exemple de la carte d'occupation du sol en forêt de Saoû au début du 21 <sup>ème</sup> siècle (établie d'après les données des habitats naturels du Conservatoire Botanique National Alpin, 2003)41
Figure 30 : Exemple du prototype d'une plaquette (côté recto) en cours de réalisation par l'équipe DECLIC, et qui sera distribuée fin 2013 dans différents services du département de la Drôme, en lien avec le secteur de la santé : un protocole d'enquête sera lancé en 2014 afin de déterminer comment analyser les relations saisonnières entre épisodes météorologiques et impacts sanitaires, dans un contexte de changement climatique
Figure 31 : Guide « Climat, réussir le changement volume 1 », publié en juillet 2012

Pn	οτο	S
DI-		

Photo 1 : Façade végétale avec substrat instrumenté (Lyon Perrache) (source LOCIE)
Photo 2 : Station météo et toiture végétale instrumentée à la Cité internationale5
Photo 3 : Mur végétal en façade nord à Chamnord (Bissy, 73)6
Photo 4 : Toiture végétalisée de l'étude (source LGCIE)
Photo 5 : Pluviographe à augets (source LGCIE)
Photos 6 et 6 : Systèmes 1 et 2 de mise en charge pour débitmètre électromagnétique (source LGCIE)
Schémas
Schéma 1: Coupe de la toiture végétalisée étudiée (source LGCIE)9
Tableaux
Tableau 1 : Pourcentages d'interception mensuel et global des précipitations par la toiture végétalisée de septembre 2012 à mai 2013
Tableau 2 : Pourcentages d'interception mensuel et global des précipitations par la toiture végétalisée de septembre 2012 à mai 2013
Tableau 3: Variations des principales caractéristiques nivologiques et des chiffres d'affaires à la station de ski de Valdrôme sur la période 2006-201132