



**HAL**  
open science

# **SIMULATION PROSPECTIVE DES DYNAMIQUES D'OCCUPATION DES SOLS A L'HORIZON 2050 DANS LE TRIANGLE AIX EN PROVENCE, MANOSQUE ET CAVAILLON**

Edwige Dubos-Paillard, Kun Ma, Patrice Langlois, René Samie, Patricia  
Taillandier

► **To cite this version:**

Edwige Dubos-Paillard, Kun Ma, Patrice Langlois, René Samie, Patricia Taillandier. SIMULATION PROSPECTIVE DES DYNAMIQUES D'OCCUPATION DES SOLS A L'HORIZON 2050 DANS LE TRIANGLE AIX EN PROVENCE, MANOSQUE ET CAVAILLON. [Rapport de recherche] Université Paris 1 - Panthéon-Sorbonne; Université de Rouen; EDF R&D, Laboratoire National d'Hydraulique & Environnement. 2014. halshs-01630070

**HAL Id: halshs-01630070**

**<https://shs.hal.science/halshs-01630070>**

Submitted on 7 Nov 2017

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

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

UMR IDEES – équipe MTG  
7 rue Thomas Becket, Bât. IRED  
université de Rouen  
76821 Mont Saint Aignan Cedex

Tél 02 35 14 69 30

Mail : [patrice.langlois@univ-rouen.fr](mailto:patrice.langlois@univ-rouen.fr)

<http://www.umer-idees.fr>

## RAPPORT DE RECHERCHE

# SIMULATION PROSPECTIVE DES DYNAMIQUES D'OCCUPATION DES SOLS A L'HORIZON 2050 DANS LE TRIANGLE AIX EN PROVENCE – MANOSQUE ET CAVAILLON

1<sup>er</sup> septembre 2012 – 31 décembre 2013

Laboratoire EDF LNHE

UMR 6266 CNRS *IDEES* (Université de Rouen) –

UMR 8504 CNRS *GEOGRAPHIE-CITES* (Université Paris 1  
Panthéon-Sorbonne)

## Contenu

Introduction	2
Méthodologie	5
Phase 1 : analyse, connaissance et appréhension des dynamiques spatiales d'occupation des sols observées dans le passé	17
Phase 2 : conception et réalisation d'un modèle dynamique par automate cellulaire, pour effectuer une rétrosimulation de l'occupation du sol du domaine compris entre Manosque, Aix-en-Provence et Cavaillon	56
Phase 3 : Elaboration de scénarios possibles d'évolution du territoire	82
Phase 4 : simulation des changements d'occupation humaine et physique des sols à l'horizon 2050 et évaluation de la population présente.	105
Conclusion	127
Table des matières	129
Bibliographie	134

## Introduction

### LE PROJET ET LES PARTENAIRES

EDF, l'UR et le CNRS ont décidé d'unir leurs efforts pour réaliser un programme de recherche portant « sur la simulation des évolutions de l'occupation future des sols, appliquée à un territoire ».

Ces recherches sont effectuées à la fois par les équipes et les chercheurs :

1. Du Département Laboratoire National d'Hydraulique et d'Environnement d'EDF R&D, situé à 6 quai Watier 78401 Chatou Cedex. Chercheur : René Samie,
2. Du Laboratoire IDEES, UMR 6266 (Identité et différenciation de l'espace, de l'environnement et des sociétés) du CNRS et de l'Université de Rouen, situé à l'IREC 5, rue Thomas Becket 76130 Mont-Saint-Aignan. Chercheurs : Kun MA, Patrice Langlois, Patrick Taillandier.
3. Du laboratoire Géographie-cités UMR 8504, du CNRS et de l'Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, situé 5<sup>ème</sup> étage 13, rue du Four, 75006 PARIS : Chercheur : Edwige Dubos-Paillard.

### RESUME

Assurer de façon durable l'équilibre entre les besoins en eau et les ressources en eau, compte tenu des incertitudes qui pèsent sur leurs évolutions supposées à moyen et long terme, est devenu une préoccupation majeure des pouvoirs publics et des acteurs en charge de la gestion de la ressource.

Dans ce projet, il s'agit de simuler les dynamiques spatiales de l'occupation humaine (croissance de la population, choix résidentiel, mobilité) et physique / fonctionnelle des sols (prenant en compte les infrastructures de transport et les activités) à l'horizon 2050 sur un territoire compris dans le triangle Aix en Provence – Manosque et Cavaillon en se fondant sur l'analyse des trajectoires observées dans le passé et des modalités qui ont favorisé les transitions.

# INTRODUCTION

Une des composantes importantes de l'étude portera sur la compréhension des différents processus qui ont structuré l'espace, notamment les interactions afin d'étudier et de mieux comprendre l'évolution de ceux-ci à l'horizon 2050.

## UNE DEMARCHE DE PROSPECTIVE POUR UNE GESTION DURABLE DE LA RESSOURCE EN EAU

Face aux incertitudes qui planent sur le devenir des ressources en eau, les approches de **prospective territoriale** apportent un éclairage spécifique et des éléments de réflexion sur les marges de manœuvre possibles sur une longue période et à différents horizons pour une gestion équilibrée et durable de la ressource en eau en cohérence avec les enjeux socio-économiques et environnementaux des territoires.

La démarche est d'autant plus importante, que sa finalité est de proposer des stratégies d'adaptation visant à limiter les conséquences graves des pénuries d'eau sur le développement économique et social des territoires. Ces résultats peuvent déboucher sur des orientations importantes avec parfois des décisions irréversibles (par exemple dans le cas d'investissements lourds) dont la pertinence ne sera vérifiée qu'*ex-post*, dans un contexte qui pourra être très différent de celui qui prévalait au moment des choix.

La compréhension des enjeux nécessite une approche systémique globale qui s'intéresse à la ressource disponible (l'offre, à travers les conditions pédoclimatiques et l'occupation des sols), à la demande en eau (bâtie à partir des besoins socio-économiques et des fonctions de demande des utilisations de l'eau) et, de façon centrale, aux mécanismes de régulation (instruments réglementaires et économiques, règles de fonctionnement des infrastructures...).

En décrivant les évolutions possibles de ce système à l'échelle des territoires sur la base de scénarios prospectifs, il devient possible d'initier une réflexion sur les stratégies possibles d'adaptation permettant d'ajuster les systèmes naturels et humains à un nouvel environnement.

Toutefois, dans cette démarche, la prise en compte de la dimension spatiale des processus naturels et des activités humaines qui participent au fonctionnement du système territorial est importante pour pouvoir apprécier l'incidence des changements sur les ressources en eau et leurs usages, analyser les enjeux autour de la question de la gestion durable de ces ressources et envisager des leviers d'action.

Notamment, pouvoir décrire les changements d'occupation humaine et physique des sols au moyen de simulation spatiale est nécessaire pour anticiper l'évolution spatio-temporelle des ressources en eau renouvelables et des besoins pour les différents usages sur le territoire considéré.

# INTRODUCTION

Dans le cadre de son projet de recherche sur le partage de la ressource (projet PRESAGE : Partage de la Ressource en Eau – Scénarios d’Avenir pour la Gestion de l’Eau) EDF LNHE envisage de disposer d’une panoplie d’outils mathématiques, permettant de modéliser divers types de processus, macro et micro, s’inscrivant à des échelles de temps et d’espace différentes et recoupant des niveaux d’organisation variables. Ces outils pourront être couplés afin de pouvoir simuler des scénarios prospectifs permettant d’explorer et de discuter des alternatives de gestion qui tiennent compte des évolutions socio-économiques et de l’aléa hydrologique.

Ces problématiques ont conduit le LNHE à s’intéresser à l’utilisation d’un outil de modélisation capable de simuler des changements de l’occupation humaine et physique des sols pour différentes hypothèses issues de scénarios prospectifs à l’échelle de territoire (bassin versant...) et par suite d’estimer les évolutions possibles de la demande en eau (voir de la demande en énergie). Dans ce domaine, il existe différentes familles capable de simuler des processus de changements intervenant dans un système complexe, spatialement organisé, et appliqués à l’utilisation des espaces.

Parmi ces familles, les automates cellulaires (AC) présentent un intérêt évident (Philipps et Langlois – 1997, Dubos-Paillard et al. – 2003...) pour la modélisation et la simulation des dynamiques d’occupation des sols (évolution urbaine principalement) passées et futures. Aussi, dans un premier temps, le LNHE a choisi d’expérimenter la plate-forme SpaCelle à partir d’une étude in situ.

## Méthodologie

### UN PROCESSUS DE TRAVAIL EN 4 PHASES.

#### **PHASE 1 : Analyse, connaissances et appréhensions des dynamiques spatiales d'occupation des sols observées dans le passé**

- identification des trajectoires d'évolution à partir de l'analyse de cartes et d'une revue bibliographique : phases de changements de statut, date de changement (émergence, évolution, disparition), type de trajectoires (stabilité, évolution douce, évolution brutale)

- détermination des processus de changement des modes d'occupation et identification des déterminants majeurs de mutation (internes ou externes au territoire) tels que les caractéristiques naturelles (relief, ressources..) ou anthropiques : démographie, aménagements - infrastructures, déboisement, urbanisation, enjeux agricoles (vignobles AOC), parcs naturels, mode de gouvernance régionale et locale, ....

- identification des principales régularités spatiales (configurations locales persistantes dans le temps) ou à l'inverse de dynamiques rapides et leurs origines (contraintes / incitations pesant sur l'évolution – conformité par rapport aux documents de planification...).

#### **PHASE 2 : Modélisation rétrospective**

Construction des couches cellulaires (variables du modèle) à partir de couches d'un SIG (couches existantes ou saisies pour le besoin du projet) et construction des règles de la dynamique du modèle à partir des processus identifiés dans la phase 1. Calibrage et paramétrage du modèle spatial (poids des composantes de règles, rayons de voisinages d'interaction) et reconstitution par simulation des changements intervenus sur l'occupation des sols par le passé.

Construction du modèle :

# METHODOLOGIE

- Réflexion autour des champs thématiques (axes de communication; type d'occupation et d'utilisation des sols ; caractéristiques physiques ou indice de viabilité, contraintes à prendre en compte, densité - taux de croissance de la population, prix du foncier, critère de décision d'installation pour les migrants..) en fonction du nombre de couches et de postes possibles
- Occupation fonctionnelle des espaces : axes de mobilité (autoroutes, nationales, voies ferrées...), principales activités (zones industrielles, CEA...)
- Occupation physique du sol : formations boisées, végétation semi-naturelle (landes, maquis et garrigues, pelouses des montagnes, friches et jachères anciennes), prairies (surface toujours en herbe), cultures de plein champ (céréalières), vergers /maraichage/vignes, zones agricoles hétérogènes, espaces urbains / ruraux (villes à forte ou faible dynamique urbaine, bourgs/villages en voie ou sous influence de périurbanisation, villages ruraux faible ou forte croissance), zones industrielles...
- Caractéristiques physiques : hydro système (cours d'eau, Durance et principaux affluents, principaux canaux d'adduction et plans d'eau pente), altitude, indice de viabilité (pente, zone vulnérable (inondation, avalanche...))
- Cartes des zones de contraintes/incitations qui vont accélérer ou freiner les processus de transition : plan d'urbanisation, espaces préservés,...
- Réflexion sur la possibilité de développer (ou d'utiliser une plateforme plus générale que SpaCelle, comme MAGEO, ou autre) des champs de variables quantitatives (densité et taux de croissance de la population, prix du foncier, niveau d'attractivité, emplois ... ?)
- Paramétrage des différentes classes d'états des cellules
- Elaboration des modèles de transition à partir des types de trajectoires et des facteurs majeurs d'évolution et construction des cartes de transition (zones de contrainte ou d'accélération des modes de transition),
- Réflexions sur le pas de temps (jour => année) et l'échelle spatiale (parcelle ou aire ...) approprié.
- Construction des couches cellulaires (variables du modèle) à partir de couches d'un SIG (couches existantes ou saisies pour le besoin du projet)
- Au cours d'un cycle modélisation-simulation-validation, élaboration progressive de la base de règles codant la dynamique du modèle à partir des processus identifiés dans la phase 1. Ce cycle comprend le paramétrage du modèle spatial (poids des composantes de règles, rayons de voisinages d'interaction) qui est affiné par comparaison avec des cartes existantes.
- Après une validation terminale du modèle, réalisation d'une rétrosimulation de référence sur la période passée choisie.

## PHASE 3 : élaboration de scénarios possibles d'évolution du territoire

Deux configurations sont possibles :

# METHODOLOGIE

- Utiliser les scénarios issus du projet de recherche R2D2 (Risque, Ressources en eau et gestion Durable de la Durance en 2050) si ceux-ci sont disponibles
- Construction de scénarios « à dire d'experts » sur la base des éléments dégagés lors de la première phase et à partir d'hypothèses d'évolution des facteurs de changement : développement des axes de communication, nouveaux enjeux agricoles et environnementaux, présence d'ITER, tension sur l'énergie, mode de gouvernance, pression urbanisation du littoral...

## **PHASE 4 : simulation des changements d'occupation des sols à l'horizon 2050**

Simulation spatiale des différents scénarios afin de visualiser les différentes formes d'évolution et d'organisation de l'occupation humaines et physiques possibles à l'horizon 2050.

### *Restitution – Discussion des résultats*

- Restitution et discussion des résultats:
  - Elaboration d'un SIG Historique sur la période de référence et le territoire choisi
  - Exportation des couches de l'instant initial pour construire les couches cellulaires de la configuration initiale.
  - Elaboration de la base de règles du modèle dynamique
  - Choix et mise en pratique des méthodes de validation (entre simulations et couches historiques)
  - Fourniture d'un modèle final (avec sorties de simulations)
- Discussion sur les incertitudes,
- Réflexion méthodologique sur les limites, domaine de validité et utilisation du modèle
- Perspectives et développements futurs.

# METHODOLOGIE

## UN OUTIL DE SIMULATION : LA PLATEFORME DE MODELISATION PAR AUTOMATE CELLULAIRE SPACELLE

### Présentation

SpaCelle, décrit dans [DUB03], est une plateforme produisant des automates cellulaires géographiques. C'est-à-dire une application informatique permettant à l'utilisateur de décrire entièrement son modèle par importation de données (comme des couches d'information géographique) ou saisie graphique.

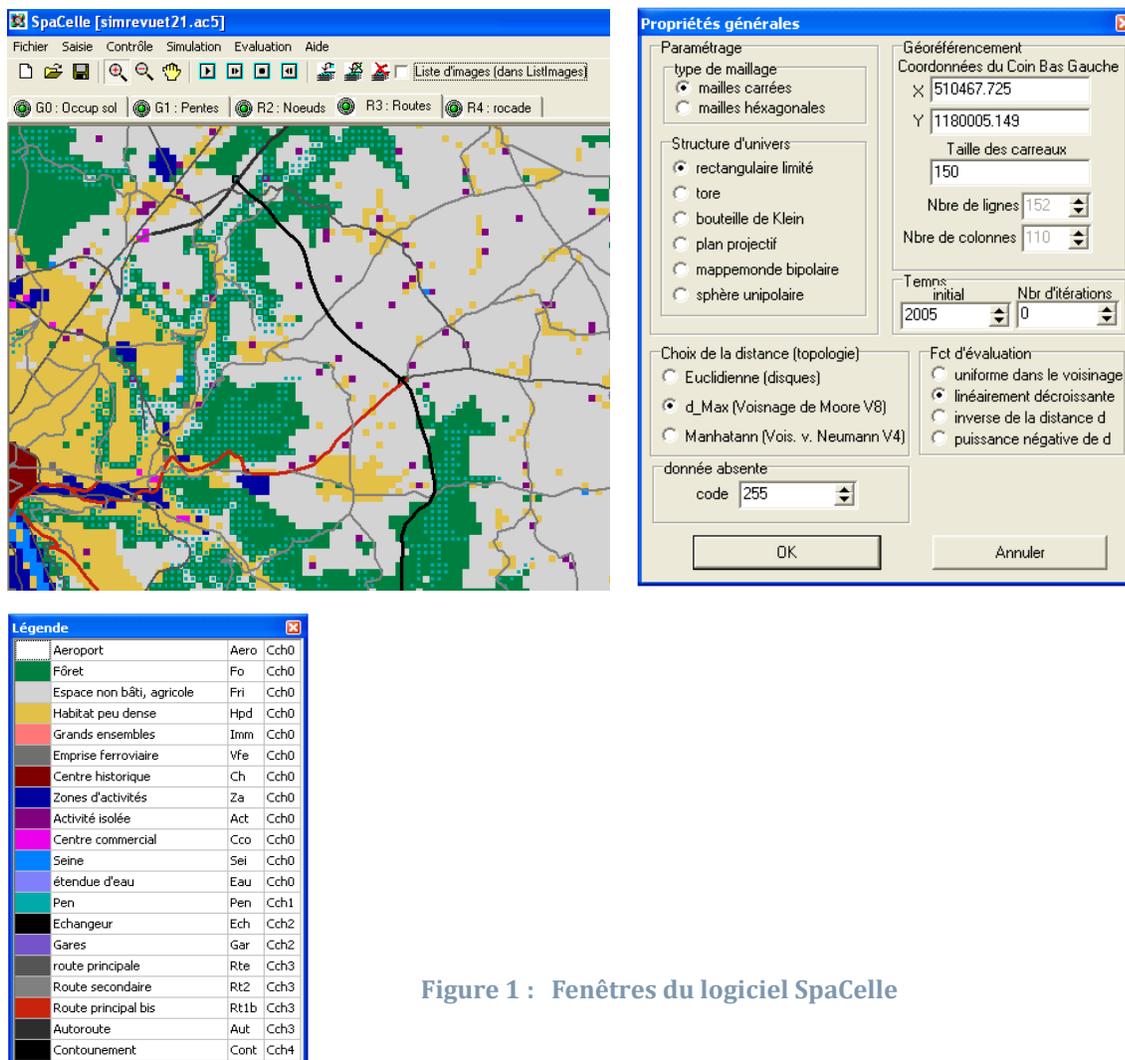


Figure 1 : Fenêtres du logiciel SpaCelle

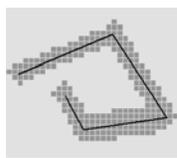
# METHODOLOGIE

Un langage à base de règles lui permet de décrire la dynamique du système. SpaCelle fonctionne selon un certain nombre de principes généraux qui constituent son *méta-modèle*. La plateforme est capable de recevoir un modèle écrit par l'utilisateur dans un langage particulier propre à SpaCelle, mais aussi de fixer un ensemble de paramètres directement accessibles par l'interface utilisateur, qui permettent de configurer les entrées, les contrôles externes et les sorties du modèle pour produire des simulations. Ainsi, les paramètres de choix généraux (taille du domaine, mode d'exécution, etc.) sont accessibles dans des fenêtres de dialogue (voir 0). Le langage de description des couches, des états et de la dynamique de l'AC, permet de configurer l'espace et le comportement dynamique du modèle. Enfin, il faut alimenter le modèle en entrée par une configuration initiale des états, par saisie directe sur l'écran ou importation de données. On peut alors procéder à des simulations et observer certaines sorties du modèle dynamique en cours d'exécution (listes d'images, graphiques, etc.).

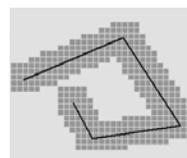
## Le choix de la métrique et la notion de voisinage dans SpaCelle

Pour créer un modèle, l'utilisateur doit choisir entre trois métriques de Minkowski,  $d_1$ ,  $d_2$  et  $d_\infty$ . La métrique  $d_1$  est plus connue chez les géographes sous le nom de distance de Manhattan,  $d_2$  est la distance euclidienne classique et  $d_\infty$  est la distance de Chebyshev ou distance du max.

La topologie de voisinage est commune à toutes les couches cellulaires du modèle et est associée à la métrique choisie. Ce n'est donc pas une topologie de contiguïté entre objets mais une topologie de proximité. Ainsi, dans SpaCelle, le voisinage de rayon  $R$  relatif à une cellule  $C$  est l'ensemble des cellules situées à une distance inférieure ou égale à  $R$  de la cellule  $C$ . Le voisinage étant calculé avec la métrique du modèle, sa forme dépend donc de celle-ci, comme on peut le voir sur la figure suivante.



(A): distance de Manhattan,



(B): distance du Max

Figure 2 : Voisinages d'une cellule linéaire dans une couche cellulaire

## Les structures d'univers

Les automates cellulaires proposent souvent un choix en ce qui concerne la manière dont on souhaite traiter les voisinages en bordure de domaine. Lorsqu'on ne craint pas des effets perturbateurs dus au fait que les bords du domaine sont topologiquement particuliers, on peut garder un domaine fermé et limité dans l'espace. Par contre, il peut être souhaitable dans d'autres modèles, de ne pas introduire une réaction différente des cellules du bord. Dans ce cas, on connecte topologiquement les

cellules du bord gauche à celles du bord droit situées sur la même horizontale, ainsi que les cellules du bord supérieur à celles du bord inférieur, situées sur la même verticale. C'est le modèle torique de l'univers. On obtient alors un domaine illimité bien que de surface finie. On pourra se reporter au paragraphe pour plus de détails concernant les morphologies d'univers possibles.

## La définition du comportement cellulaire sous SpaCelle

Chaque cellule se caractérise par un « comportement » commun à toutes les cellules d'une même couche. Il est défini par un double mécanisme de transition *interne et externe*.

Pour modéliser un phénomène géographique, le mécanisme de transition externe peut être complexe. Pour le définir avec un maximum de souplesse, on exprimera ce mécanisme par une suite de règles indépendantes appelées **règles de transition**. Par exemple pour le jeu de la vie, on doit exprimer deux règles de transition : celle qui fait passer une cellule de l'état M (mort) à l'état V (vie) et celle qui la fait passer de l'état V à l'état M. Si on note «  $a > b$  », la transition d'un état  $a$  vers un état  $b$ , et si  $n_v$  représente le nombre de cellules vivantes dans le voisinage de 8 cellules, nous pouvons alors exprimer le mécanisme de transition du « jeu de la vie » par les deux règles suivantes :

$$M > V \text{ lorsque } n_v = 3$$

$$V > M \text{ lorsque } n_v \notin [2,3]$$

Dans tous les autres cas, il n'y aura pas de changement d'état de la cellule. Cette manière d'écrire est régie dans SpaCelle par une syntaxe particulière à laquelle il faut se conformer pour que le système puisse l'interpréter correctement. La syntaxe générale de toute règle est de la forme suivante :

$$\text{EtatInitial} > \text{EtatFinal} = \text{Pertinence} \quad (\text{formule 2})$$

La partie «  $\text{EtatInitial} > \text{EtatFinal}$  » est la partie **action** de la règle c'est-à-dire le changement d'état ou transition. Le symbole « = » sépare simplement les deux parties de la règle, sans autre signification. La partie « *Pertinence* » permet d'évaluer la pertinence (la force) de la transition. Elle se présente sous la forme d'une expression dont l'évaluation pour une cellule donnée, à un instant donné, est un nombre réel entre 0 et 1.

## Structure générale d'un modèle

Un modèle est constitué d'une ou plusieurs **couches** de cellules choisies parmi trois classes : carroyage, « hexagonage » ou réseau linéaire. Un modèle possède aussi une **métrique** (parmi les trois déjà présentées) qui définit une topologie de voisinages formée des disques de rayons variables autour de chaque cellule. Une fonction de **pondération** de la distance au centre des voisinages doit aussi être définie. La métrique et la pondération s'appliquent à toutes les couches du modèle. Un modèle possède aussi un domaine spatial géoréférencé, une forme et une morphologie (ouverte ou fermée de

# METHODOLOGIE

manière torique). Il possède aussi un domaine temporel (temps origine, durée de simulation fixée ou non) et un mode d'ordonnement de l'exécution des cellules (synchrone, asynchrone ou aléatoire).

Dans chaque couche est défini un certain nombre d'états qualitatifs que peuvent prendre ses agents cellulaires. Chaque état est défini par son identifiant, un nom, une couleur et la forme du symbole associé. Une liste de **règles** est associée à chaque état.

Chaque cellule possède une forme, une localisation et contient (au plus) un **agent cellulaire** réactif très simple (automate Moore simplifié), composé d'un **état qualitatif**, d'un **âge**, d'une **durée de vie maximale** et d'un ensemble de compétences issues des règles associées à cet état. Il est capable d'évaluer **son environnement** extérieur et sa **force de vie** (intérieur) lui permettant de choisir à chaque instant une de ses règles pour agir sur lui-même.

Un modèle dynamique est défini par un ensemble de règles, qui peuvent être écrites dans un ordre quelconque et qui sont indépendantes entre elles (voire même contradictoires).

Le domaine peut être recouvert par plusieurs couches cellulaires dont chacune possède sa propre dynamique ou demeurer statique. Chaque couche est capable d'influencer la dynamique des autres couches car les règles permettent de combiner des informations relatives à plusieurs couches.

## Le comportement cellulaire, naissance, vie et mort, loi de la règle la plus pertinente

Un agent cellulaire mémorise son âge, c'est-à-dire le nombre de pas de temps écoulés depuis qu'il a acquis son état actuel. L'âge conditionne sa « force de vie » qui lui permet de conserver son état. Elle vaut 1 à sa naissance et décroît linéairement jusqu'à 0 à sa mort naturelle. Au cours du temps, cette « force de vie » diminue et souffre de plus en plus de la concurrence des « forces environnementales ». Un agent peut ainsi mourir prématurément si une des forces environnementales qui agit sur lui, dépasse sa propre force de vie.

Lorsqu'une cellule prend un nouvel état, cela correspond à la naissance d'un agent cellulaire qui est alors affecté d'une durée maximale de vie (dans cet état). Cette durée de vie dépend de sa classe (DI : durée infinie, DF : durée fixée, DA : durée aléatoire selon une espérance de vie et un écart-type). Si l'agent atteint l'âge de sa mort naturelle, il change d'état et prend l'état de mort défini dans la règle de vie de sa classe.

Le comportement cellulaire est basé sur un **principe décisionnel unique** : parmi les règles applicables à un instant donné pour une cellule, **c'est la règle la plus pertinente qui s'applique toujours**. En effet, chaque règle qui s'applique à un agent cellulaire, calcule une valeur qui s'interprète comme un *degré de pertinence* pour appliquer cette règle dans la cellule à un instant donné. Si plusieurs règles sont en concurrence, *c'est la règle dont la valeur de pertinence est la plus forte qui est exécutée*. Si plusieurs règles atteignent le maximum, une seule règle est retenue parmi celles-ci par tirage aléatoire. En d'autres termes, ce principe choisit la règle associée à la plus grande valeur entre la « force de vie »

# METHODOLOGIE

d'une cellule et les « forces environnementales » émanant des autres cellules. Ce choix décide à chaque instant quelle action de transition devra s'appliquer à la cellule.

On voit que ce mécanisme est très différent d'une description algorithmique du comportement cellulaire ou d'une description par règles d'inférences logiques. La base de règles n'est pas une liste d'instructions du type « si *condition* alors *action* ». A chaque instant et pour chaque cellule, une seule règle d'action (la plus pertinente) est choisie et exécutée. Ainsi, l'ordre des règles n'a aucune importance, certaines peuvent être inutiles, elles peuvent même être contradictoires car le jeu de la concurrence fera toujours son choix.

## Fonctionnement déterministe ou stochastique

Le mécanisme de décision est généralement déterministe, sauf en cas d'égalité entre les règles les plus pertinentes. D'autre part la durée de vie des agents cellulaires peut être choisie de façon déterministe ou aléatoire. Il existe aussi des fonctions spéciales qui déclenchent des événements, soit à un instant tiré aléatoirement, soit à une date définie. Ces fonctions événementielles, par combinaison avec d'autres fonctions d'évaluation, permettent d'introduire une dose d'aléatoire. Enfin, même si les cellules possèdent une durée de vie fixe, leur âge à l'instant initial est défini de manière aléatoire par le programme.

Ainsi, le modélisateur peut faire son choix entre un modèle complètement déterministe (comme le jeu de la vie), fortement stochastique (comme le modèle de discrimination socio-spatial de Schelling par exemple), ou un modèle ayant à la fois une composante déterministe et une certaine dose d'aléatoire.

## Ecriture des règles

Les règles suivent toutes la forme syntaxique donnée en formule 2. Néanmoins on distingue deux catégories : les règles de vie (et donc aussi de mort) qui permettent de faire évoluer une cellule de manière interne sans rapport avec l'environnement, et les règles de transition qui décrivent les changements possibles de l'état d'une cellule par rapport aux actions de l'environnement. On aurait pu appeler ces deux formes de transition : règles de transition interne et règles de transition externe.

Par exemple, la règle de vie « Pav > Fri = DA(100 ; 25) » signifie que la classe « Pav » (type pavillonnaire), devient « Fri » (une friche) après sa « mort » et possède une durée de vie aléatoire (DA), selon une espérance de vie de 100 ans et un écart-type de 25 ans.

Pour les règles de transition, la partie « pertinence » est une expression formée d'une combinaison de *fonctions d'évaluation spatiale*. Ces dernières s'écrivent le plus souvent sous la forme  $F(X ; R)$ . Elles permettent d'évaluer pour chaque cellule, la pertinence de la transition qui peut s'interpréter aussi comme la « force environnementale » générée par les agents de type X (industrie, habitats dense,

etc.) dans un voisinage de rayon R autour de la cellule. Il existe une vingtaine de fonctions prédéfinies. Par exemple, la fonction « EV(Ind+Com ; 5) » évalue s'il existe au moins un agent de type « industrie » ou « commerce » dans le voisinage de rayon 5. Cette fonction renvoie 1 si la proposition est vraie et 0 sinon. La fonction « PV(Ind ; 3) » (PV pour Proportion dans le Voisinage) calcule une valeur qui vaut 1 si 100% des cellules voisines sont de l'industrie, et qui décroît vers 0 comme la proportion de cellules « industrie » dans le voisinage.

La phrase : « une friche peut devenir pavillonnaire s'il existe déjà du pavillonnaire ou du commerce dans le voisinage et, s'il n'y a pas d'industrie dans un voisinage un peu plus éloigné » se traduit par la règle de transition suivante :

$$Fri > Pav = EV(Pav + Com ; 3) * ZV(Ind ; 5)$$

La conjonction « et » de l'expression se traduit par une multiplication notée « \* », alors qu'un « ou » se traduit par une addition « + ». Les valeurs 3 et 5 représentent les rayons des deux voisinages envisagés. On peut expérimenter plusieurs valeurs de rayon avant de fixer celle qui convient le mieux.

## Calcul de la pertinence d'une règle de transition

D'une manière plus générale, la pertinence est une expression qui se présente sous la forme générale d'une combinaison linéaire ayant la forme suivante :

$$Pertinence = \lambda_1 P_1 + \lambda_2 P_2 + \dots + \lambda_k P_k$$

Chaque terme  $P_i$  est un produit de symboles  $f_{ij}$  qui représentent des appels à des fonctions prédéfinies.  $P_i = f_{i1} * f_{i2} \dots f_{ih}$ . Les symboles  $\lambda_i$  sont des coefficients entiers facultatifs permettant de donner un poids relatif aux différents termes de l'expression.

Chaque fonction  $f_{ij}$  réalise un calcul qui dépend du contenu d'un voisinage de rayon R. Certaines fonctions sont binaires, c'est-à-dire qu'elles renvoient 0 si c'est faux, et 1 si c'est vrai. Par exemple, la fonction EV(X, R) renvoie 1 s'il existe au moins une cellule de type X dans un rayon R autour de la cellule considérée. D'autres fonctions renvoient une valeur réelle entre 0 et 1 : par exemple la fonction PV(X, R) renvoie la proportion de cellules de type X dans le voisinage de rayon R autour de la cellule. Remarquons que cette valeur dépend aussi du choix de la fonction d'interaction choisie qui décroît avec la distance.

Pour que le résultat de l'expression soit toujours dans l'intervalle réel [0, 1], l'expression calculée en interne est normalisée en divisant par la somme des coefficients. Ainsi l'expression effectivement calculée est une moyenne pondérée:

$$v = \frac{\lambda_1 P_1 + \lambda_2 P_2 + \dots + \lambda_k P_k}{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_k}$$

# METHODOLOGIE

Une fois compilée, cette expression donne naissance à une structure arborescente chargée de faire le calcul de la pertinence de la règle qui dépend de l'état de l'environnement de la cellule au moment du calcul.

## Evaluation stricte ou floue d'un voisinage

Les fonctions continues prédéfinies de type spatial (comme  $PV$ ) qui sont de la forme  $F(X, R)$  évaluent le potentiel d'un voisinage de rayon  $R$  relativement à un état (ou un groupe d'états)  $X$ . Soit en considérant tous les voisins de la même manière (pondération constante), soit en utilisant une pondération décroissante en fonction de la distance. L'utilisateur a le choix entre quatre fonctions de pondération de la distance : constante :  $g(d) = 1$ , linéairement décroissante :  $g(d) = 1-d/R$ , décroissance hyperbolique :  $g(d) = 1/(d+1)$  ou plus généralement en décroissance exponentielle :  $g(d) = (d+1)^{-k}$ .

L'évaluation de  $F(X, R)$  sur un voisinage de rayon  $R$ , est définie par une fonction  $f$  qui calcule la densité d'agents de type  $X$  sur le cercle de rayon  $d \leq R$ . Le résultat  $F(X, R)$  est la moyenne de ces densités pondérée par :

$$g: F(X, R) = \frac{\sum_{d=0}^R g(d) f(d, X)}{\sum_{d=0}^R g(d)}$$

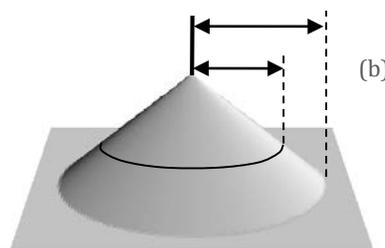
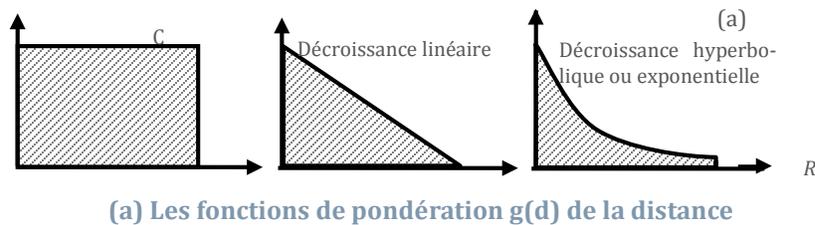


Figure 3 : (b) Evaluation d'un voisinage pondéré linéairement

# METHODOLOGIE

## La base de règles

La base de règles contient la description des états et des règles. Elle est divisée en trois parties (correspondant à trois fenêtres de saisie): définition des états, définition des règles de vie (si nécessaire) et définition des règles de transition.

Dans le cas d'un modèle très simple comme le jeu de la vie, il suffit de définir deux états (V: vie et M: mort). Aucune règle de vie n'est ici nécessaire et deux règles de transition sont définies par :

$$\begin{aligned}M > V &= NV(V;1;3) \\V > M &= SV(V;1;2;3)\end{aligned}$$

La première règle signifie que toute cellule morte (M) prend vie (V) lorsque, dans son voisinage de rayon 1, il y a 3 cellules vivantes (la fonction NV signifie : Nombre de Voisins). La deuxième règle dit que toute cellule ne reste vivante (V) que si le nombre de ses voisins vivants est dans l'intervalle [2 ; 3]. Dans le jeu de la vie, il faut aussi fixer certains paramètres comme le type de voisinage qui est de type Moore, le mode de fonctionnement qui doit être synchrone et la forme de la maille qui doit être carrée. Ces paramètres sont fixés dans une fenêtre de dialogue où il faut cocher les choix.

## Le méta-modèle SpaCelle

Le méta-modèle de SpaCelle permet de proposer au modélisateur un niveau de spécification de son modèle plus simple que le niveau algorithmique puisque le méta-modèle contient déjà l'algorithme général de fonctionnement d'un automate cellulaire. Il ne lui reste plus qu'à décrire le mécanisme de transition à travers les règles de vie et de transition.

Le fonctionnement du méta-modèle, sur lequel se greffe le modèle défini par l'utilisateur, est le suivant : à chaque instant  $t$  et pour chaque cellule d'état  $s$ , il évalue la pertinence des règles de transition  $R_0, R_1, \dots, R_i, \dots, R_k$  dont le premier membre `EtatInitial` est  $s$ . Si c'est la force de vie ( $R_0$ ) de la cellule qui est la plus pertinente, la cellule reste en l'état, si c'est une des forces  $R_i$ , (pour  $i > 0$ ), la cellule meurt prématurément et son état devient `EtatFinal` de la règle  $R_i$ .

## Les sorties

Le logiciel permet de sélectionner un certain nombre de sorties lui permettant d'observer le comportement du modèle en cours ou après la simulation :

- Cartes des configurations successives avec enregistrement possible de la suite d'images ou de grids (permettant de faire le film de la simulation).
- Observation globale de la dynamique par des graphiques d'évolution de la fréquence des états.

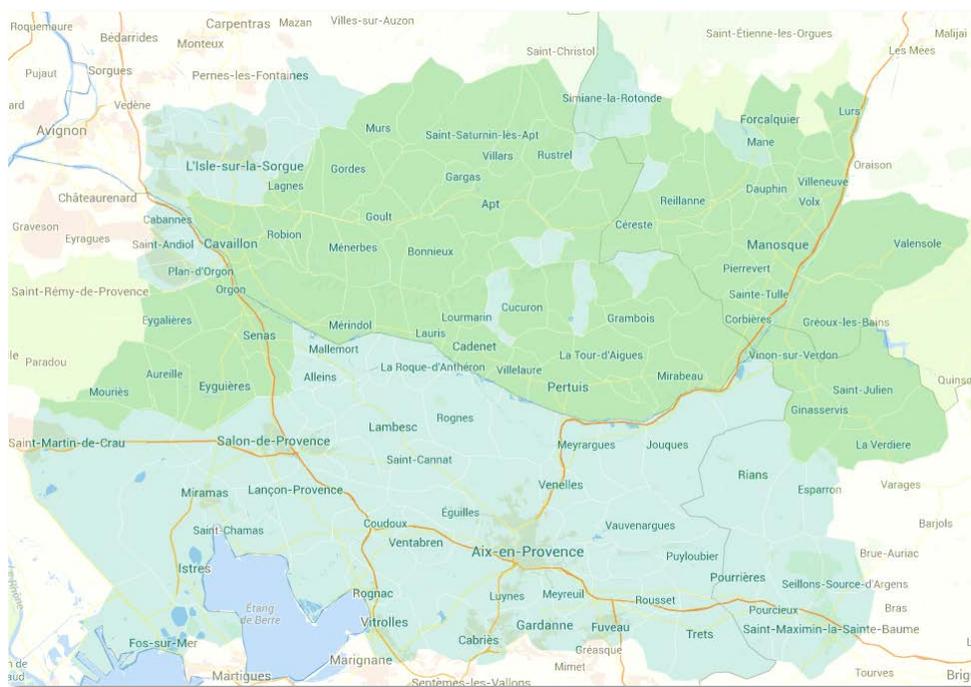
# METHODOLOGIE

- Observation locale qui visualise les règles applicables à chaque cellule et leur pertinence.
- Observation de la fréquence d'utilisation des différentes règles au cours d'une simulation, ce qui permet d'analyser le rôle et l'importance de chaque règle au cours de la simulation.

L'enregistrement en format « grid » permet de réutiliser les résultats dans un SIG ou dans un logiciel de comparaison de carte comme « Map Comparison Kit » [HAG05].

## Phase 1 : analyse, connaissance et appréhension des dynamiques spatiales d'occupation des sols observées dans le passé

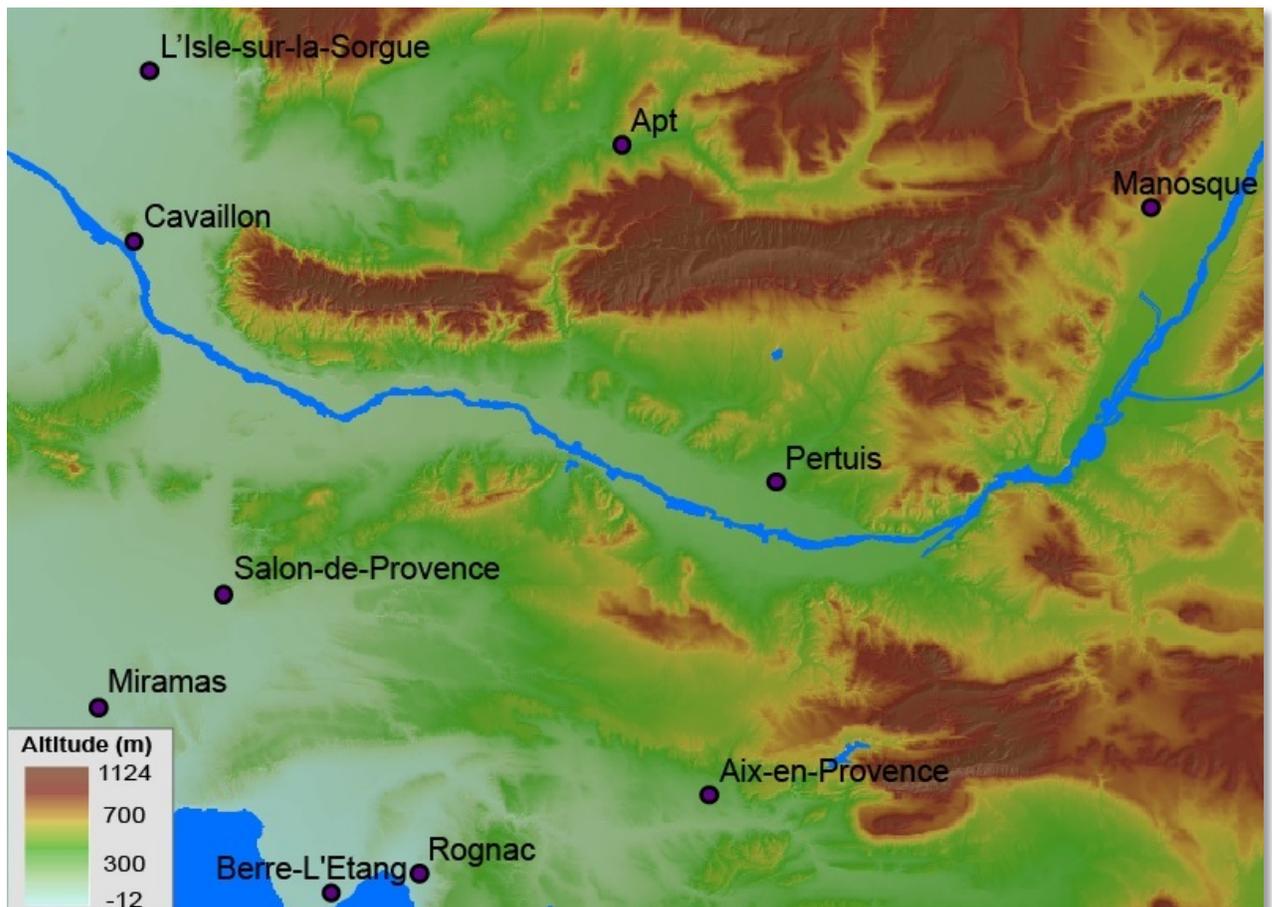
La zone étudiée se situe en Provence-Alpes-Côte-d'Azur et s'étend sur les quatre départements du Var, des Alpes-de-Haute-Provence, des Bouches-du-Rhône et du Vaucluse. Centrée sur la Basse et Moyenne Durance et la région d'Aix-en-Provence, elle s'étend entre les communes de Cavailon au nord-ouest, Manosque au nord-est et Aix-en-Provence au sud, soit une superficie d'environ 4 050 km<sup>2</sup>. Elle se compose de 171 communes et compte 856 350 habitants en 2009.



Carte 1- Le découpage communal du domaine d'étude

## RELIEFS ET PAYSAGES

Le relief, constitué principalement de plaines dans le secteur de la basse-Durance à l'ouest, est davantage marqué par la présence de collines et de plateaux vers l'est, dans le secteur de la moyenne Durance. Deux chaînons calcaires marquent le paysage : la montagne Sainte Victoire (Pic des Mouches, 1011m) à l'est d'Aix-en-Provence, peinte à de nombreuses reprises par Cézanne, et le Lubéron au nord (Mourre Nègre, 1124 m). Tous deux s'étirent d'est en ouest sur une vingtaine de kilomètres contraignant les circulations nord-sud.



Carte 2- Les principaux éléments du relief

## PHASE 1 : ANALYSE DES DYNAMIQUES SPATIALES PASSEES

La Durance parcourt d'est en ouest notre aire d'étude. La moyenne Durance s'écoule en direction du sud-sud-ouest, elle correspond à la partie comprise entre les deux cluses de Sisteron et de Mirabeau. La basse Durance prend une direction est-ouest, contournant les Alpilles par le nord avant de se jeter dans le Rhône.

La vallée de la Durance est marquée par une succession de villes et villages dont les sites originaux, la plupart du temps perchés, marquent la volonté de se préserver des crues dévastatrices (Manosque, Pertuis, Cavaillon, Châteaurenard). Longtemps la Durance a été appelée le « fléau de la Provence », la zone étudiée étant régulièrement touchée par le phénomène de crue rapide (torrentielle principalement). Entre 1832 et 1890, la rivière a connu 188 crues de plus de 3 mètres (mesurées au pont de Mirabeau), dont sept avec une hauteur d'eau supérieure à 5m. Les crues majeures au XIX<sup>e</sup> sont celles de 1843, 1856 et 1886. Celle de 1843 entraîna presque tous les ponts de la rivière entre les Mées et Cavaillon.

En 1955, l'entreprise EDF fut chargée d'aménager la Durance et le Verdon. Concrètement, ce sont trois missions qui lui furent confiées: la production d'électricité, l'alimentation en eau (agriculture, population) et la régulation des crues. Afin de satisfaire aux deux premières, « En un peu moins de 40 ans, quelque 23 barrages et prises d'eau sont établis le long de son cours ou de ses affluents depuis les prises d'eau des Claux (Pelvoux) à celle de Mallemort en passant par la retenue de Serre-Ponçon. Le canal de la Durance alimente par ailleurs 33 centrales hydroélectriques. L'aménagement est achevé en 1992 par les ouvrages du Buëch. » (Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement, 2011). La Durance ne reçoit plus aujourd'hui qu'une infime partie, de son flot naturel (2.5%), l'essentiel étant détourné dans des canaux en aval de Serre-Ponçon destinés à alimenter en eau les centrales, l'agriculture, l'industrie et la population des villages et des grandes villes qui a fortement augmenté ces dernières années.

Si les aménagements réalisés ont permis de réguler le débit de la Durance, les réservoirs construits n'ont qu'une capacité limitée d'écrêtement des crues, ils atténuent surtout les crues moyennes et n'ont pas d'influence sur les crues majeures comme en témoigne la crue de 1994.

La région offre une grande variété de paysages remarquables (carte 3) qui lui donnent un attrait touristique important. Dans la moyenne Durance, la vallée présente des paysages tantôt resserrés par la présence de collines, de plateaux et du Luberon, tantôt plus large comme dans le secteur de Manosque. Dans la basse Durance, les coteaux s'éloignent pour laisser place à une plaine alluviale considérablement élargie<sup>1</sup> et davantage artificialisée.

---

<sup>1</sup> Mercier Jean. La basse Durance alpestre de Sisteron à Mirabeau. Etude de Géographie économique et humaine. In: *Revue de géographie alpine*. 1941, Tome 29 N°4, pp. 579-705.

# PHASE 1 : ANALYSE DES DYNAMIQUES SPATIALES PASSEES

Carte 3- Les différents paysages au sein de la zone d'étude

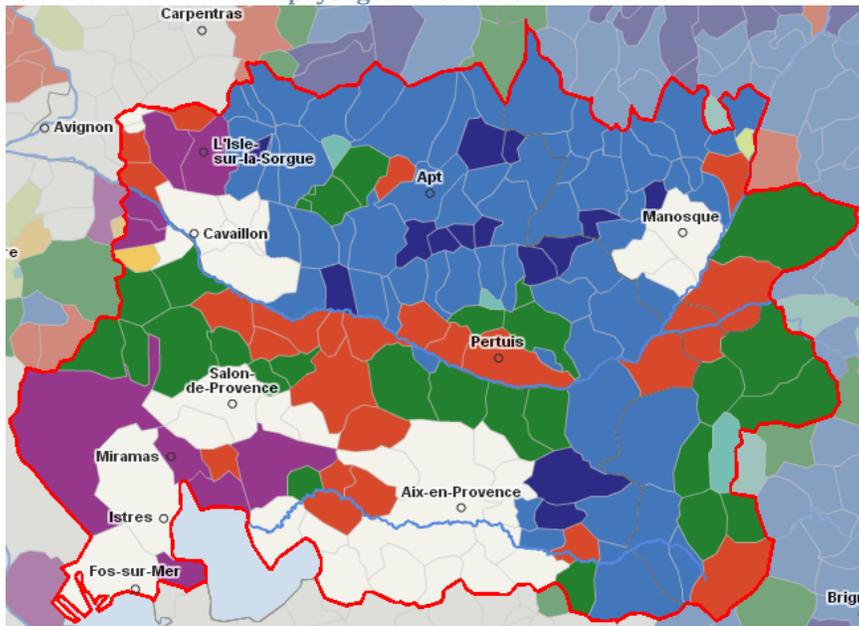
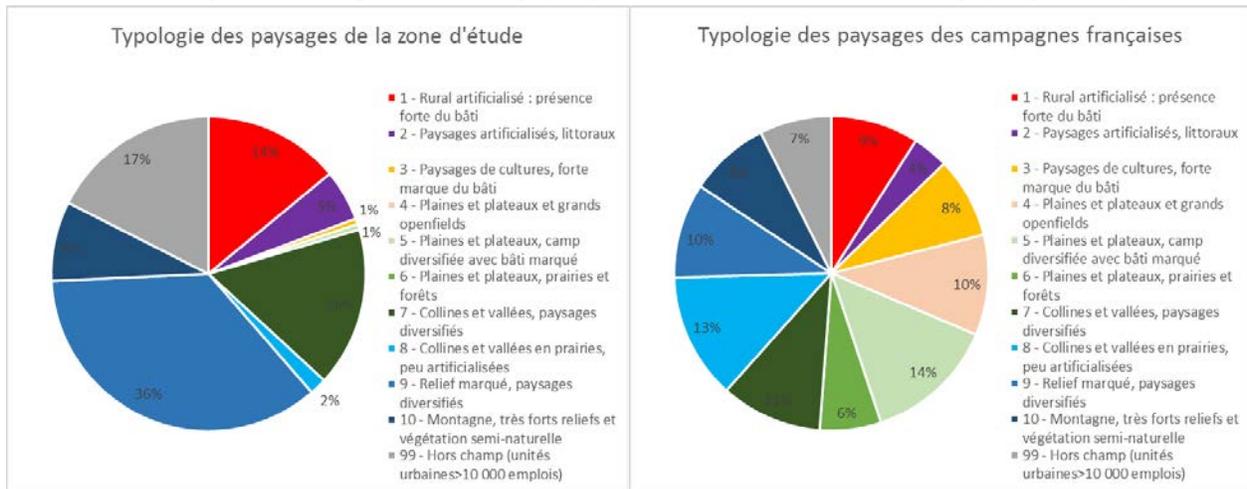


Figure 4 : Comparaison des paysages de la zone étudiée avec les paysages français



Source : DATAR - INRA CESAER/ UFC-CNRS ThéMA/ Cemagref DTMA METAFORT, 2011

# PHASE 1 : ANALYSE DES DYNAMIQUES SPATIALES PASSEES

Cette diversité des paysages et la grande variété des espèces méditerranéennes fragiles (animales et végétales) ont rapidement conduit ce territoire à protéger ses espaces les plus vulnérables confrontés à une pression anthropique qui s'est considérablement accentuée ces trente dernières années (urbanisation, mitage, incendies de forêts, tourisme, etc). Plus du tiers des communes de la zone étudiée s'insèrent dans le périmètre d'une réserve de biosphère et près d'un quart dans des zones de protection spéciales (protection des oiseaux) et/ou des sites d'intérêt communautaire (tableau 1).

Tableau 1: Les espaces naturels protégés au sein de la zone d'étude

## Protection des milieux

	Sélection	France
Part des réserves de biosphère dans la superficie du territoire (%)	34,3	5,2
Part des Sites d'Importance Communautaire (SIC) dans la superficie du territoire (%)	23,6	6,7
Part des Zones de Protection Spéciale (ZPS) dans la superficie du territoire (%)	24,5	6,2
Part des Parcs Nationaux dans la superficie du territoire (%)	0	11,1
Part des Parcs Naturels Régionaux (PNR) dans la superficie du territoire (%)	46,1	12,5
Part des Arrêtés de Protection Biotope (APB) dans la superficie du territoire (%)	3,7	0,3
Part des sites Ramsar dans la superficie du territoire (%)	0	1,4

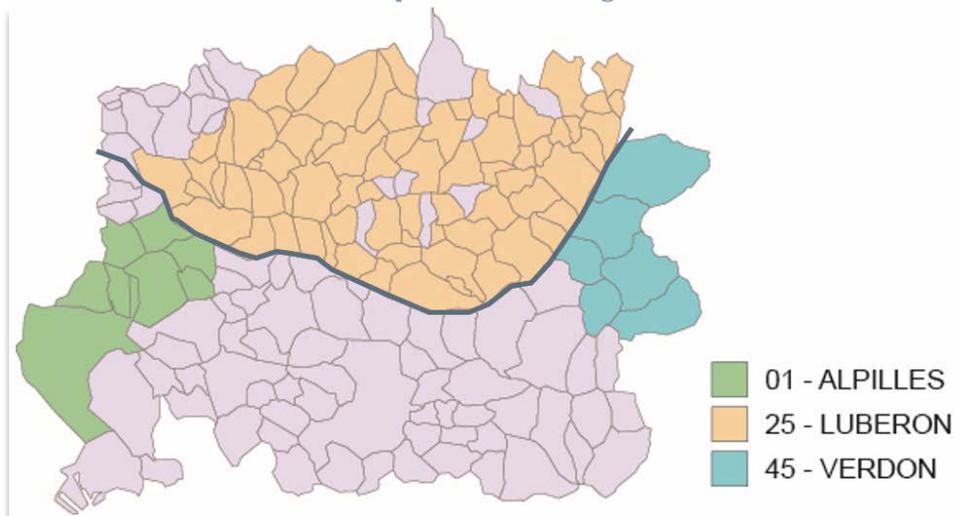
source : Muséum National d'Histoire Naturelle, INPN (MEEDDM-DREAL), 2010-2013

Trois parcs naturels régionaux couvrent la moitié des communes composant le territoire (carte 4).

- **Le parc naturel régional du Luberon**, le plus ancien (1977), couvre la plupart des communes situées au nord de la Durance. La création de ce parc tient à la volonté de 32 communes de préserver leur cadre de vie menacé par « le déclin des activités agricoles, la notoriété nouvelle du Luberon, son essor touristique se conjuguant à l'aménagement du complexe industriel de Fos-sur-Mer faisant craindre que les lieux ne deviennent une zone purement résidentielle, sorte de banlieue verte de la métropole Marseille/Etang de Berre/Aix-en-Provence » (Tillier, 2011).
- **Le parc du Verdon**, créé en 1997, se situe plus à l'est de la zone étudiée. Six communes de notre secteur s'insérant dans les unités paysagères du plateau du Valensole ou des collines du Haut-Var lui sont rattachées.
- Enfin **le parc des Alpilles**, créé en 2007, est l'un des plus petits parcs naturels régionaux français. Il s'inscrit davantage à l'ouest de la zone étudiée et couvre principalement le chaînon calcaire des Alpilles. Huit des seize communes qui le constituent font partie de notre zone d'étude.

# PHASE 1 : ANALYSE DES DYNAMIQUES SPATIALES PASSEES

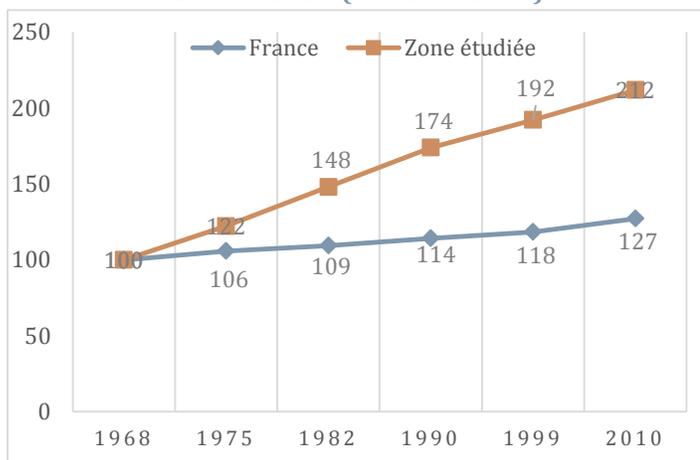
Carte 4- Les trois parcs naturels régionaux



## UN DEVELOPPEMENT LOCAL EN PARTIE LIE A DECISIONS NATIONALES

Le secteur compris entre Manosque, Aix-en-Provence et Cavaillon a connu une croissance démographique très importante entre 1968 et 2009. La population a été multipliée par deux, tandis que la population régionale progressait de 48% (figure 5).

Figure 5: Evolution de la population dans la zone étudiée entre 1968 et 2010 (base100=1968)



Cette croissance démographique tient en grande partie à l'attractivité de ce territoire aux paysages remarquables, ainsi qu'à la proximité de Marseille, d'Avignon et du littoral méditerranéen en

# PHASE 1 : ANALYSE DES DYNAMIQUES SPATIALES PASSEES

voie de saturation. L'amélioration de la desserte routière et autoroutière a également joué en faveur de la zone étudiée.

Néanmoins, le dynamisme démographique observé durant la seconde moitié du XX<sup>e</sup> siècle tient également à plusieurs décisions nationales datant de la fin des années 1950 et des années 1960 qui ont favorisé le développement économique et démographique de secteurs jusqu'alors peu peuplés, parmi lesquelles :

- 1) la volonté de faire d'Aix-Marseille une métropole d'équilibre et de développer une zone industrialio-portuaire dans le secteur de Fos-Sur-Mer/étang de Berre
- 2) la décision du Commissariat à l'Energie Atomique d'implanter un centre de recherche sur le nucléaire sur la commune de Saint-Paul-lès-Durance.

## **La région de Manosque, Saint-Paul-lès-Durance : Un dynamisme lié à l'installation du Commissariat à l'Energie Atomique (CEA) sur le domaine de Cadarache.**

Avant l'installation du CEA sur le domaine de Cadarache, le secteur de Saint-Paul-lès-Durance, n'était quasiment pas peuplé. Cette faiblesse du peuplement tout comme l'abondance de l'eau, les projets de construction d'usines hydroélectriques sur la Durance et la présence d'un socle de calcaire hauterivien résistant ont joué en faveur de ce site en 1959, lorsque le Commissariat à l'Energie Atomique décide d'installer un centre de recherche atomique dans la région (Livet, 1978). La proximité relative des ensembles universitaires d'Aix-en-Provence et de Marseille constituait également un atout important.

Cadarache est l'un des centres de recherche les plus importants sur le nucléaire en Europe. Les 1 600 ha de terrain accueillent actuellement entre 5000 et 6000 salariés qui font vivre indirectement 15 000 à 20 000 personnes. A ceux-ci, nous pouvons ajouter pour la période 2014-2017, environ 3 000 emplois « temporaires » liés à la construction d'ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor). Une fois achevé, en 2020, ITER devrait employer environ 1 000 personnes parmi lesquelles 400 scientifiques (2/3 d'étrangers). Cette activité devrait générer 2 400 emplois indirects en Provence-Alpes-Côte-d'Azur.

L'installation du CEA a généré un afflux de population jeune, transformé les villes et villages, redynamisé le commerce et favorisé l'implantation sur Aix et Marseille de plusieurs entreprises ayant le CEA pour principal client : fournisseurs de gaz carbonique, d'azote, de matériaux de construction, d'appareils de levage, etc. Si une part importante des nouveaux migrants s'installe à Aix (25 km), certains optent pour des localités plus proches de Cadarache comme Manosque qui accueille dans les mêmes moments de nombreux rapatriés d'Algérie, Vinon-de-Verdon, Pertuis, Sainte-Tulle ou Gréoux-bains (figures 6 à 11). Cette dynamique contraste avec la stabilité, voire la diminution de la population observée avant les années 1960 du fait de l'exode rural. Elle reste cependant concentrée dans

# PHASE 1 : ANALYSE DES DYNAMIQUES SPATIALES PASSEES

la vallée, les communes du Lubéron oriental, du plateau de Valensole et des collines du Haut-Var continuant à perdre de la population jusqu'à la fin des années 1980 voire le début des années 2000.

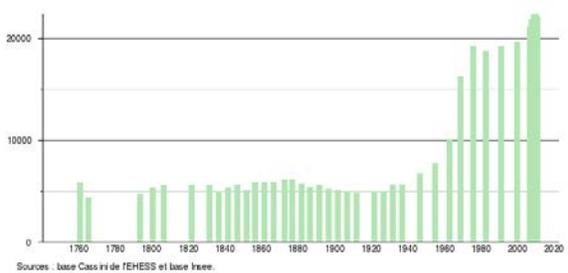


Figure 6 : Manosque

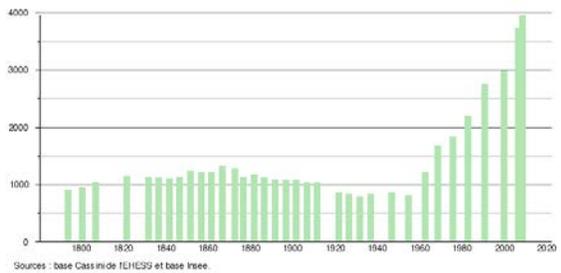


Figure 7 : Vinon-sur-Verdon

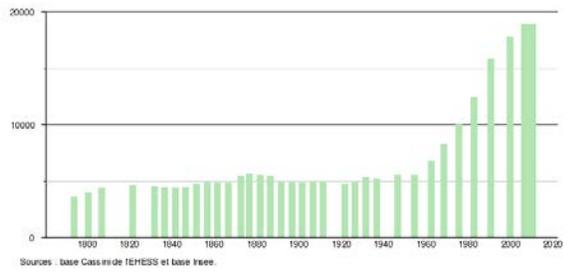


Figure 8 : Pertuis

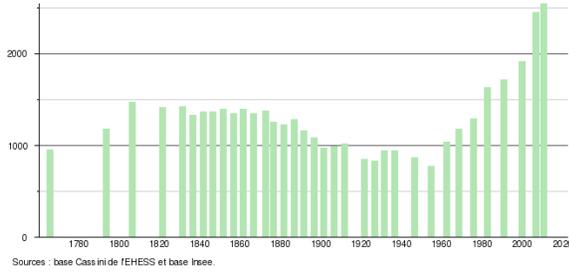


Figure 9 : Gréoux-les-Bains

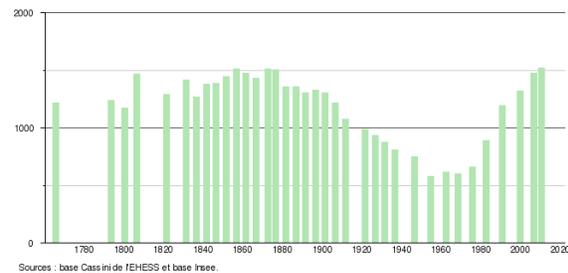


Figure 10: Reillanne

Source : WIKIPEDIA

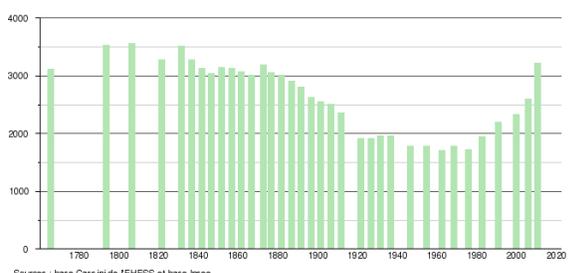


Figure 11: Valensole

En effet, depuis le début des années 1980, le dynamisme démographique ne se concentre plus uniquement dans les communes situées dans la vallée, la plupart des villages des plateaux et collines environnantes connaissent une croissance démographique certes faible en termes absolus, mais non négligeable en termes relatifs qui tient essentiellement à l'extension de l'aire d'influence de Marseille et au développement d'une activité touristique dans les parcs du Luberon et du Verdon.

# PHASE 1 : ANALYSE DES DYNAMIQUES SPATIALES PASSEES

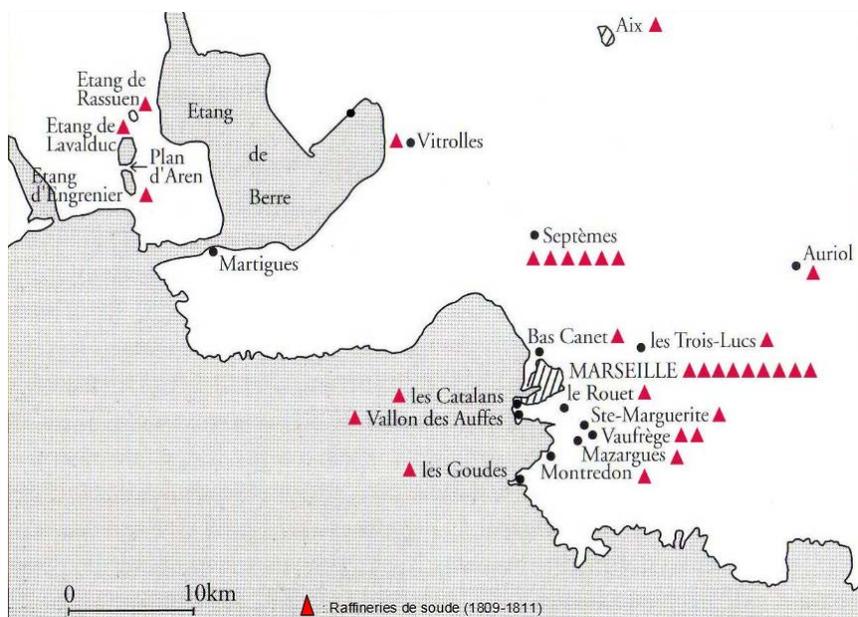
**L'étang de Berre : un développement industriel et urbain lié à la volonté de faire de Marseille une métropole d'équilibre.**

C'est à peu près à la même période que les communes situées autour de l'Etang de Berre connaissent une dynamique très semblable à celle observée autour du centre de recherche atomique de Cadarache.

Si les traces d'une occupation humaine autour de l'étang de Berre sont observées dès le néolithique, le développement industriel et urbain de cet espace est surtout postérieur à la seconde guerre mondiale.

Jusqu'à la guerre de 1914-1918, la principale activité industrielle présente autour de l'étang de Berre était l'exploitation du sel qui alimentait les savonneries marseillaises (soude, acide sulfurique, carte 5). En 1922, la Société générale des huiles de pétrole installe à Lavéra des dépôts de stockage de pétrole raffiné (Barbier et al, 1974) . Entre 1931 et 1934, trois raffineries s'installent autour de l'étang (Berre-l'Étang, Martigues-La mède, Martigues-Lavéra) en raison des lois de 1928 incitant à raffiner sur le sol français, une quatrième sera mise en service en 1965 à Fos-sur-Mer.

**Carte 5- Usines de Soude autour de l'étang de Berre et de Marseille (Savon de Marseille, Verrerie)**



Source : [http://www.etangdeberre.org/upload/file/maxi/daumalin\\_195.pdf](http://www.etangdeberre.org/upload/file/maxi/daumalin_195.pdf)

La construction de ces vastes installations, s'accompagne de la création du port de la Pointe à Berre, du port pétrolier de Lavéra et d'un poste d'accostage au large de la digue du canal du Marseille au Rhône reliant Marseille à Martigues.

## PHASE 1 : ANALYSE DES DYNAMIQUES SPATIALES PASSEES

Dans les années 1960, pour renforcer la métropole marseillaise, l'Etat décide de créer à Fos-sur-Mer et autour de l'étang de Berre un nouveau bassin industriel, fondé en partie sur de nouvelles activités liées à l'importation du pétrole et des matières premières (Morel, 2000), on cherche alors à rapprocher les sites de transformation des lieux d'approvisionnement. Il est décidé d'orienter le site de Fos vers la sidérurgie et de faire de l'étang de Berre, qui disposait déjà des complexes de Lavera et de Berre, un véritable pôle industriel spécialisé dans le pétrole et la chimie. Au début des années 1970, 23 établissements du pétrole et de la chimie emploient près de 8 000 personnes (Barbier et al, 1974). Les quatre raffineries représentent le tiers des capacités de production françaises. Les industries du pétrole et de la chimie fournissent le tiers des besoins français en chlore, éthylène, le cinquième des détergents, les trois-quarts des solvants et des insecticides.

L'aéronautique constitue également un secteur important qui a aussi bénéficié du soutien de l'Etat (l'histoire de l'aéronautique débute en 1910 quand Henry Fabre fait décoller et amerrir le premier hydravion sur l'étang de Berre). Dans les années 1970, le secteur compte plus de 11 000 emplois dans 52 établissements dans la région de l'étang de Berre. La société nationale industrielle aérospatiale qui prendra par la suite le nom d' « Aerospatial » emploie plus de 6 000 personnes à Marignane et à Istres (Barbier et al, 1974).

Enfin, le bâtiment, les travaux publics et les matériaux de construction, soutenus par l'essor de l'industrie et la croissance importante de la population emploient au début des années 1970 près de 7 000 personnes.

Face à ce développement industriel guidé en grande partie par l'Etat qui ambitionne de faire de Marseille une métropole d'équilibre, l'accroissement démographique des communes autour de l'étang de Berre est très important (figures 12 à 15). La façade orientale qui rassemblait 37 000 habitants en 1954, en compte le double en 1970 (Barbier et al, 1974). Berre voit sa population augmenter de 56% en quinze ans, Vitrolles voit sa population multipliée par 2 et Marignane par 4,5. La façade occidentale qui comptait 34 000 logements en 1954 en compte 55 000 en 1970. A l'exception de Saint-Chamas (+18%), les villes du nord-ouest s'inscrivent dans une dynamique semblable (Miramas +52%), Istres voit sa population doubler.

# PHASE 1 : ANALYSE DES DYNAMIQUES SPATIALES PASSEES

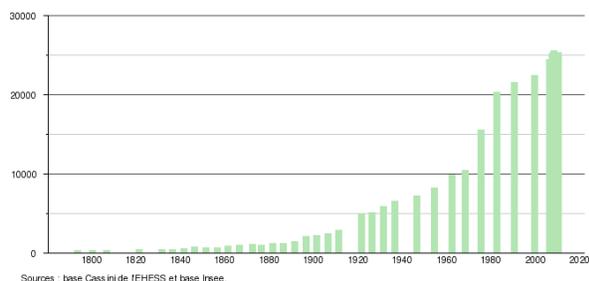


Figure 12: Miramas

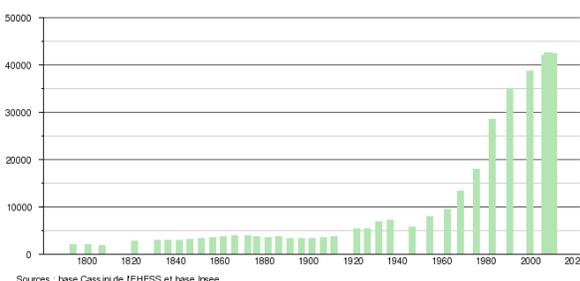


Figure 13: Istres

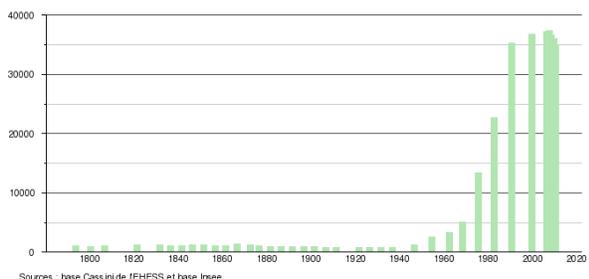


Figure 14: Vitrolles

Source : WIKIPEDIA

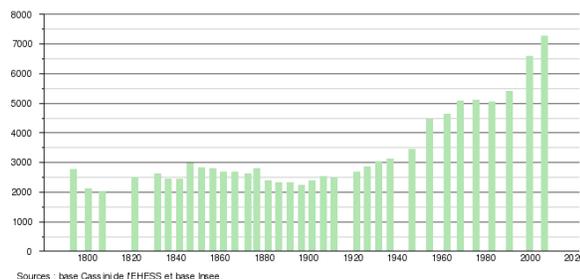


Figure 15: Saint Chamas

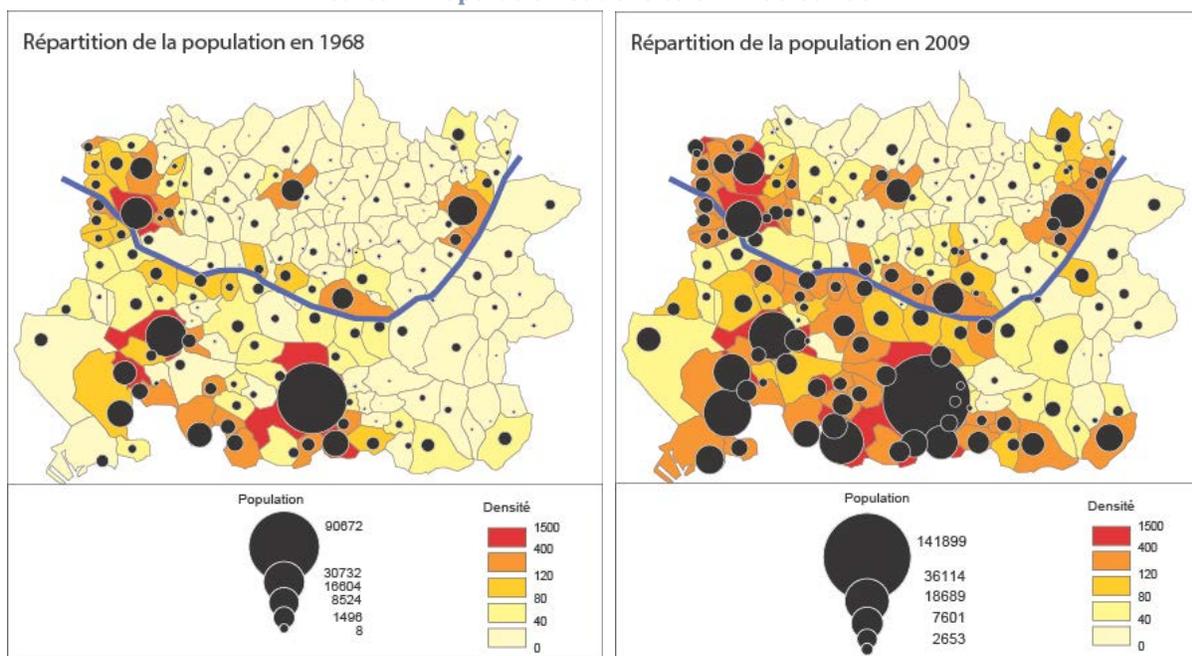
Pour accueillir les nouvelles familles, il faut construire de nombreux logements en des temps relativement courts. En 1971, les besoins estimés sont de 14 000 logements sur la façade occidentale et à près de 9 000 sur la façade orientale.

Pour favoriser la construction en masse de logements, l'Etat décide en 1965, de réaliser la ville nouvelle des « Rives de l'étang de Berre » qui devait compter quelque 33 communes. Contrairement à la plupart des villes nouvelles, l'urbanisation se fait autour de pôles urbains existants et la question de créer un nombre d'emplois suffisant pour faire de cette ville nouvelle une centralité secondaire au sein de l'aire urbaine marseillaise ne se pose pas. « Cependant, les trois municipalités de Saint-Mitre, Port-de-Bouc et Martigues, déjà fortes de leur propre puissance industrielle et réunies en syndicat intercommunal à vocation multiple, refusèrent de s'associer à la ville nouvelle. Seules quatre communes y adhérèrent finalement : Fos-sur-Mer, Istres et Miramas, à l'ouest de l'étang de Berre, groupées à partir de 1984 en un syndicat d'agglomération nouvelle (SAN), et, isolée à l'est, Vitrolles en tant que commune associée. »(Epareb, 2012)



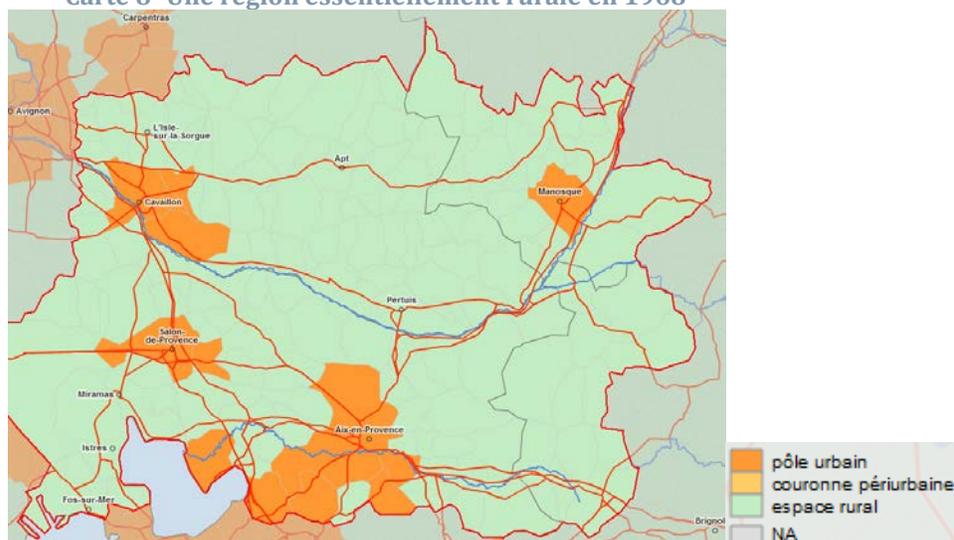
# PHASE 1 : ANALYSE DES DYNAMIQUES SPATIALES PASSEES

Carte 7- Population et densité en 1968 et 2009



L'essentiel des communes observées appartient à l'espace rural (carte 8). Seuls cinq pôles urbains comprenant plus de 5000 emplois se distinguent (Manosque, Cavillon, Salon-de-Provence, Berre-l'étang et Aix-en-Provence).

Carte 8- Une région essentiellement rurale en 1968

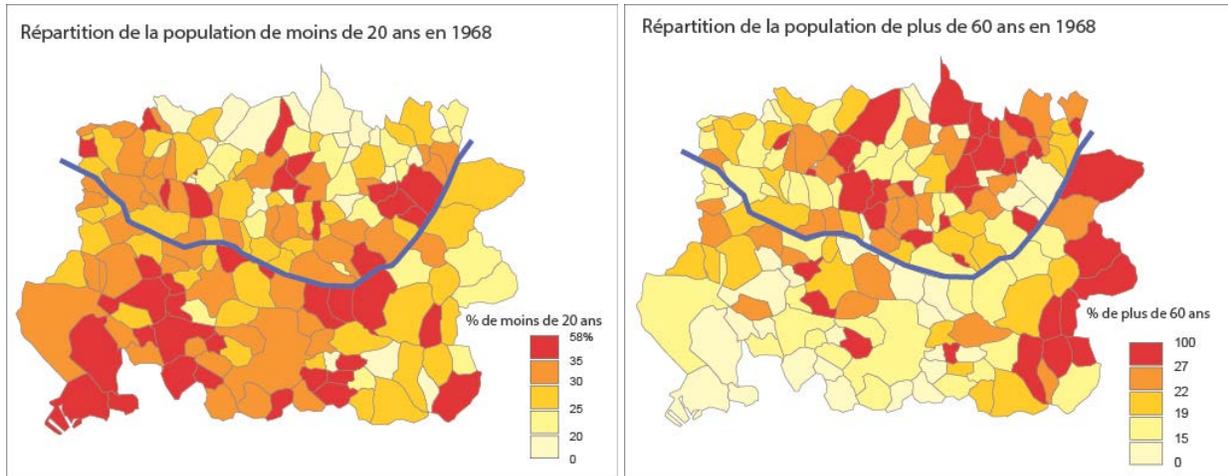


La population est relativement jeune. La proportion des moins de 20 ans est légèrement supérieure à la moyenne régionale (32,8% contre 30,1%). L'arrivée de jeunes ménages avec enfants apparaît clairement autour de l'étang de Berre ainsi que dans les communes proches du domaine de

# PHASE 1 : ANALYSE DES DYNAMIQUES SPATIALES PASSEES

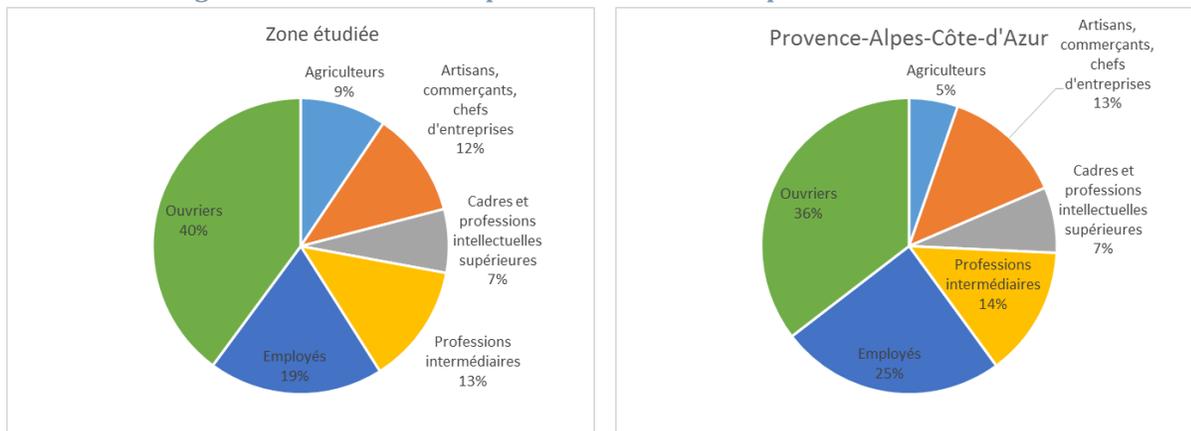
Cadarache et de Manosque. Les communes où la proportion des plus de 60 ans est la plus importante se situent majoritairement dans le Lubéron et dans l'est, dans les collines du Haut-Var. La plupart d'entre elles sont faiblement peuplées et affichent des soldes naturels négatifs, voire fortement négatifs tandis que les soldes migratoires restent souvent positifs.

**Carte 9- Répartition des moins de 20 ans et des plus de 60 ans en 1968**



En 1968, la structure socioprofessionnelle des emplois est caractérisée par l'importance des ouvriers et par une surreprésentation des emplois agricoles au regard de leur présence au niveau régional.

**Figure 16: Structure socioprofessionnelle des emplois en 1968 dans la zone étudiée**

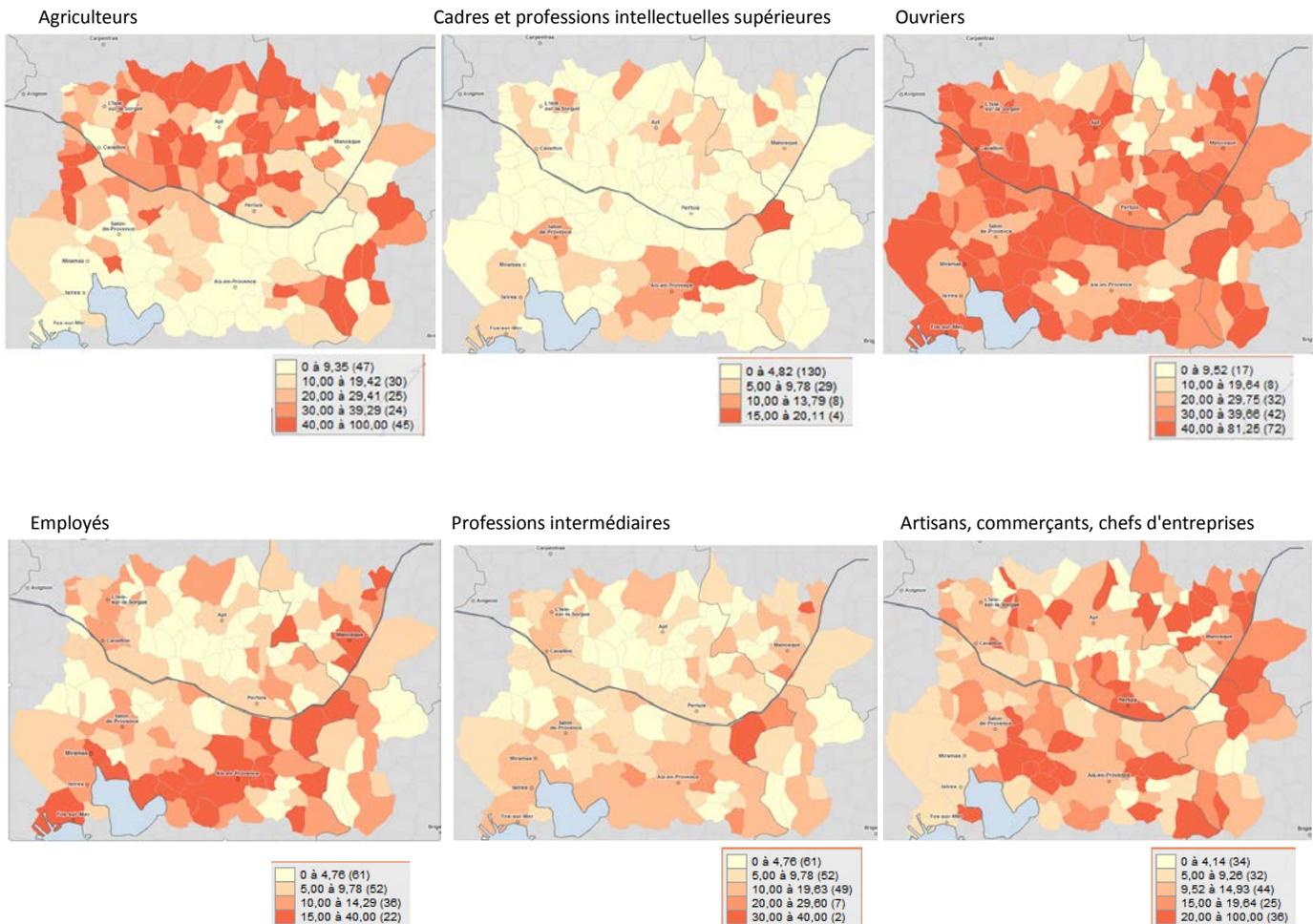


Les ouvriers (40% des emplois) sont très présents dans l'ensemble du secteur étudié, à l'exception des communes des Monts de Vaucluse, qui ont un profil agricole, et dans une certaine mesure du pôle urbain aixois. L'agriculture à forte composante viticole, maraîchère et fruitière (huertas) est très présente au nord de la Durance et dans un vaste secteur autour de Cavillon. Exigeante en main-

# PHASE 1 : ANALYSE DES DYNAMIQUES SPATIALES PASSEES

d'œuvre, elle maintient un nombre d'emplois relativement élevé. Apparue au cours du XIX<sup>e</sup> siècle, cette dernière a pu se développer grâce à l'irrigation et l'arrivée des chemins de fer (Cavaillon, Châteaurenard, Avignon, Carpentras) qui permettaient de transporter rapidement depuis Cavaillon les « primeurs » de fruits et légumes vers l'ensemble du territoire métropolitain. Dans les années 1960, la création du marché d'intérêt national fait de Cavaillon un des principaux pôles de négoce des fruits et des légumes en Europe.

Carte 10- Les catégories socioprofessionnelles en 1968



Les cadres et professions intellectuelles supérieures, les employés et dans une certaine mesure les professions intermédiaires sont des catégories socioprofessionnelles avant tout urbaines. La commune d'Aix-en-Provence qui compte un habitant sur cinq compte en 1968, 40% des cadres et professions intellectuelles supérieures, 31% des employés et 28% des professions intermédiaires. On notera les profils atypiques de Saint-Paul-lès-Durance et de Jouques qui affichent une proportion élevée de chacune de ces CSP en raison de la présence du CEA.

# PHASE 1 : ANALYSE DES DYNAMIQUES SPATIALES PASSEES

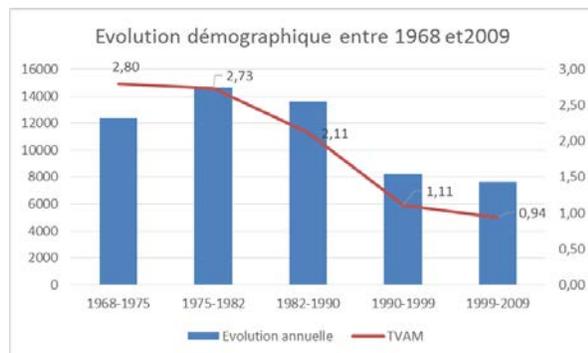
## Un dynamisme démographique puissant, un visage avant tout urbain en 2010.

Entre 1968 et 2009, la population est multipliée par deux. L'ensemble des communes, quelle que soit leur taille et leur localisation, connaît une croissance démographique importante. D'un point de vue quantitatif, la progression démographique la plus importante se produit entre 1975 et 1990. Durant cette période, chaque année, plus de 14 000 nouveaux habitants sont recensés dans la zone d'étude. D'un point de vue relatif, il faut distinguer la période 1968-1982 marquée par des taux de croissance annuels moyens élevés (~2.7% par an), de la période 1982-2009 marquée par une diminution régulière de ceux-ci. Durant la décennie 2000, le taux observé reste néanmoins supérieur à la moyenne régionale qui est de 0.76% (France 0.66%. figure 17).

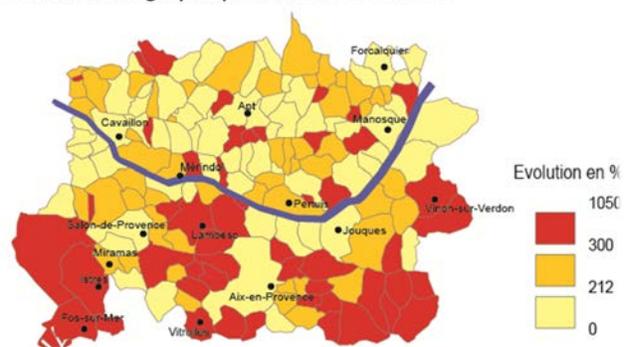
En termes de répartition spatiale, sur un temps long, les progressions les plus notables se situent au sud de la Durance : autour de l'étang de Berre, dans les espaces périurbains de Salon-de-Provence et d'Aix-en-Provence ainsi que dans le secteur de Saint-Maximin-la-Baume, situé au sud-est, bien desservi par le réseau routier et dans les aires d'influence de Brignoles, Aix-en-Provence et moindrement de Marseille et de Toulon (carte 11).

Dans le détail (carte 12), on relève jusqu'en 1982 le desserrement de la population autour des communes les plus importantes, qui continuent à afficher des croissances élevées, et la forte progression démographique des communes qui constituent la ville nouvelle des Rives de l'étang de Berre (Miramas, Fos-sur-Mer, Istres et Vitrolles). Les rythmes s'atténuent notablement au cours des années 1990, le mouvement de périurbanisation, s'il existe toujours, apparaît moins nettement. On note malgré tout, durant les années 2000, après une décennie de ralentissement important, une accélération de la croissance démographique dans le nord-est, dans les communes proches du domaine de Cadarache et/ou de Manosque qui voient s'installer de plus en plus de personnes originaires des agglomérations aixoise et marseillaise.

Figure 17

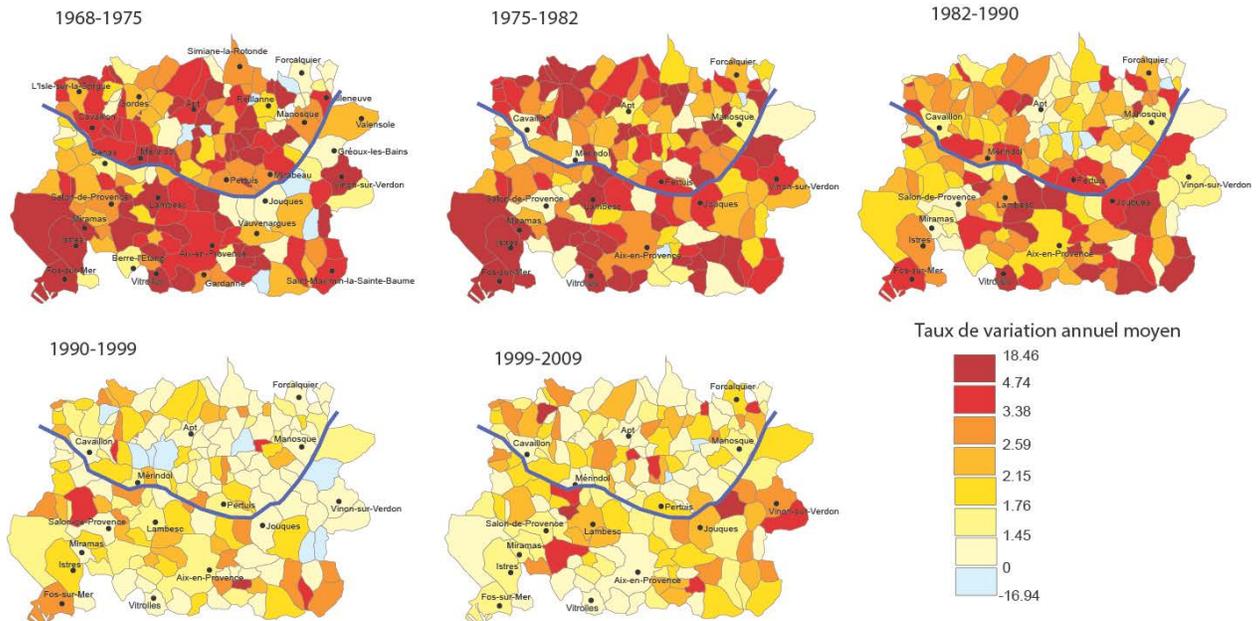


Carte 11- Evolution démographique entre 1968 et 2009



# PHASE 1 : ANALYSE DES DYNAMIQUES SPATIALES PASSES

Carte 12- Evolution des taux de variation moyens entre 1968 et 2009, par période intercensitaire.



En 2010, la population a doublé, elle est de 864 700 habitants. Avec 142 700 habitants, Aix-en-Provence reste la seule commune de plus de 50 000 habitants. Commune très modeste par rapport à Marseille au début du XXème siècle, elle a connu une progression notable à partir des années 1960 et 1970. Elle passe ainsi de 89 566 habitants en 1968 à 141 438 en 2010 (figure 19).

Le secteur compte beaucoup plus de communes de 15 000 à 50 000 habitants et de communes de 5 000 à 10 000 habitants. A l'inverse, le nombre de communes de moins de 1 000 habitants est quasiment divisé par deux. En dépit d'une augmentation de 17% de son nombre d'habitants, la commune d'Aix-en-Provence voit son poids diminuer dans la population totale tout comme Salon-de-Provence, Cavaillon, l'Isle sur la Sorgue, Apt ou Manosque. Ces communes subissent les effets du mouvement de périurbanisation. Celui-ci est particulièrement visible autour d'Aix-en-Provence (carte 11).

Tableau 2 : Classement des villes en fonction de leur population en 1968 et 2009

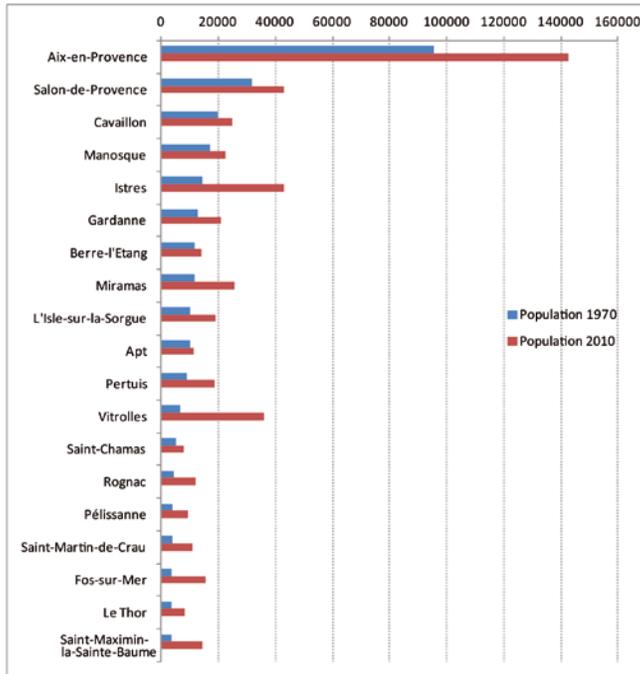
## Hiérarchie urbaine

Rang	Population	Nombre de villes 1968	Principales villes	Nombre de villes 2009	Principales villes
1	+ de 50000	1	Aix-en-provence	1	Aix-en-provence
2	15000-50000	3	Salon-de-Provence, Manosque, Cavaillon	10	Salon-de-Provence, Istres, L'isle sur la Sorgue, Fos sur Mer Vitrolles, Miramas, Cavaillon, Manosque, Gardanne, Pertuis
3	10000-15000	5	L'isle sur la Sorgue, Miramas, Etang de Berre, Gardanne, Istres,	7	Etang de Berre, Apt, Trets Rognac, Bouc Bel Air, Saint-Maximin-la-Sainte-Baume, Saint-Martin de Crau
4	5000-10000	4		20	
5	2000-5000	31		43	
6	1000-2000	33		35	
7	- de 1000	94		55	

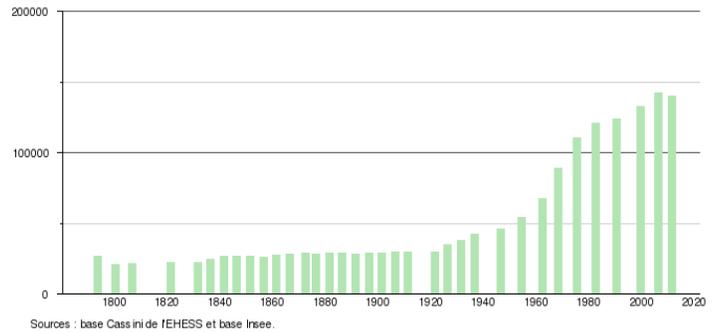
# PHASE 1 : ANALYSE DES DYNAMIQUES SPATIALES PASSEES

**Figure 18 Comparaison de la population des principales communes entre 1970 et 2010**

Evolution de la population dans les principales villes entre 1970 et 2010

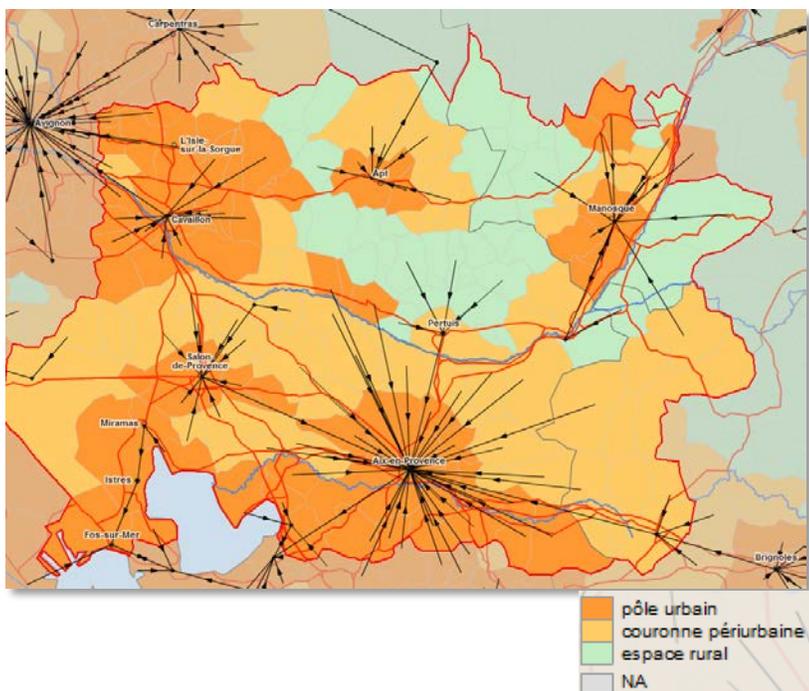


**Figure 19: Evolution de la population d'Aix-en-Provence entre 1800 et 2010**



La zone étudiée, fortement rurale en 1968 apparaît désormais avant tout urbaine : Les trois-quarts des communes appartiennent soit à un pôle urbain, soit à la couronne périurbaine. Aix-en-Provence

**Carte 13- Une région devenue urbaine**



et Marseille étendent leur influence sur une large part de la rive sud de la Durance, le pôle urbain englobe désormais les pourtours de l'étang de Berre. Au nord-ouest, Avignon a fortement étendu son aire d'influence, principalement au cours des dix dernières années en intégrant les anciennes aires urbaines de Cavaillon et L'Isle-sur-la-Sorgue ainsi que des communes « isolées » telles que Eygalières, Beaumettes, Gordes, Goult, Saint-Pantaléon, Saumane-de-Vaucluse et Fontaine-de-Vaucluse.

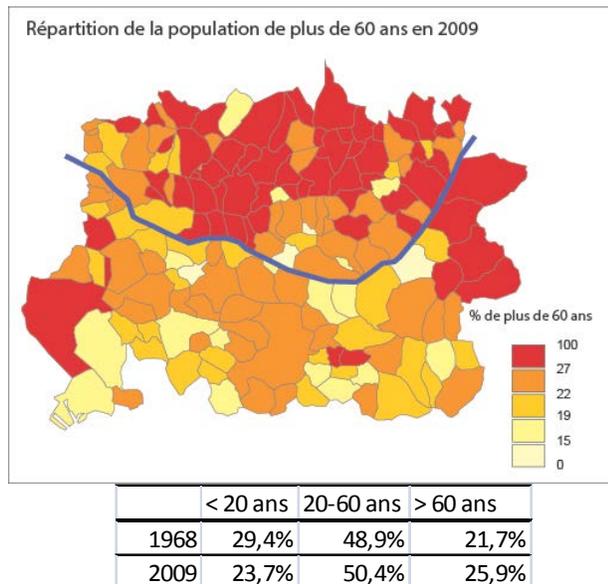
# PHASE 1 : ANALYSE DES DYNAMIQUES SPATIALES PASSEES

Les communes rurales, densément peuplées, se situent majoritairement dans les parcs naturels régionaux du Luberon et du Verdon. Le nord-nord-est se structure autour de Manosque dans la vallée de la Durance, et Apt dans la vallée du Calavon. Néanmoins, ces deux aires urbaines sont de plus en plus captées par les métropoles d'Aix-Marseille et d'Avignon. Ainsi, la mise en place d'un RER entre Manosque et Aix, l'entrée en activité prochaine d'ITER ainsi que la future intercommunalité Aix-Marseille-Provence, qui n'intègre pas le SCOT de Manosque mais s'étend néanmoins jusqu'à la Saint-Paul-lès-Durance, sont autant d'éléments qui révèlent une interconnexion croissante du nord-est de l'espace étudié avec la métropole.

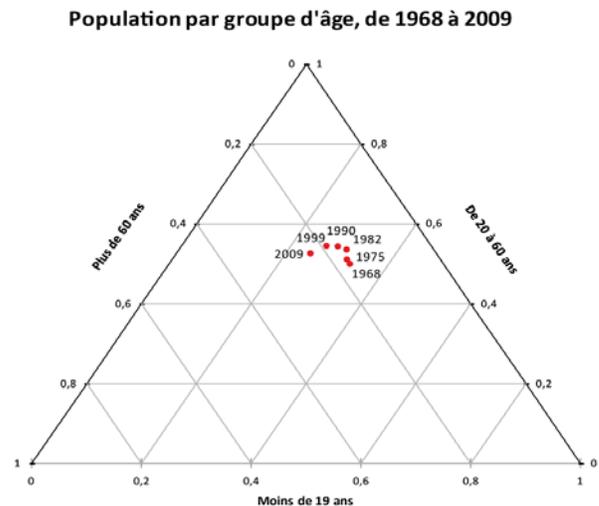
La région a connu, entre 1968 et 2009, un vieillissement notable de sa population (figure 20). Désormais, la part des jeunes de moins de 20 ans est identique à celle observée en Provence-Alpes-Côte-d'Azur tandis que celle des plus de 60 ans a fortement augmenté pour être supérieure à la moyenne régionale. La part de la population d'âge actif a augmenté jusqu'en 1999, elle stagne depuis.

En 2009, la population âgée se situe principalement au nord de la région étudiée (carte 14) ainsi que dans les communes qui bordent le territoire à l'est.

**Carte 14- Part des plus de 60 ans en 2009**



**Figure 20: Evolution de la population par tranche d'âges**



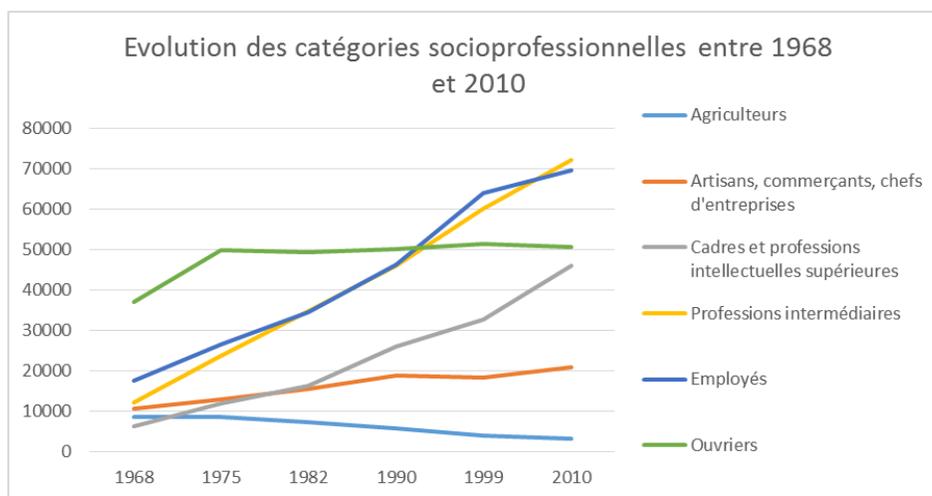
Au-delà du vieillissement de la population, on constate un afflux important d'une population retraitée au niveau de vie relativement élevé cherchant l'ensoleillement et la qualité de vie. Bien souvent cette dernière possédait une résidence secondaire dans le secteur d'étude. La retraite donne lieu à une transformation de la résidence secondaire en résidence principale. Ce phénomène a été renforcé par l'amélioration de qualité des infrastructures de transport, notamment la mise en place du TGV qui met la région à trois heures de Paris.

# PHASE 1 : ANALYSE DES DYNAMIQUES SPATIALES PASSEES

La région observée a aussi connu des transformations socioprofessionnelles importantes au cours des quarante dernières années. Son profil en matière d'emploi est désormais très proche du profil régional, les cadres étant très légèrement surreprésentés (2 points) et les employés sous-représentés (3 points).

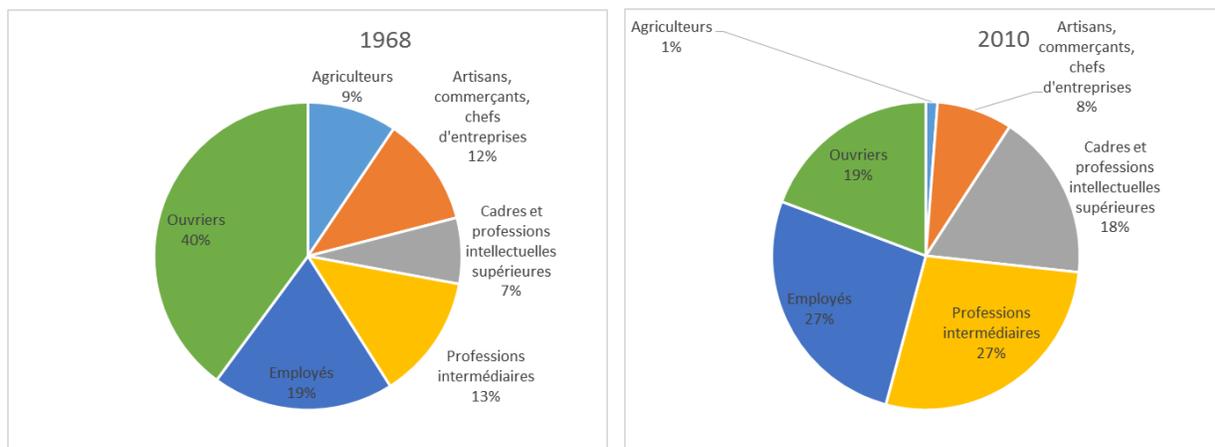
Le nombre d'ouvriers (4 emplois sur 10 en 1968) a continué à croître jusqu'en 1975. Il se maintient depuis autour de 50 000 personnes. Leur poids relatif a cependant été divisé par deux en quarante ans. Les agriculteurs ont fortement diminué : en 2010, la zone étudiée comptabilise 3200 agriculteurs (exploitants ou salariés), soit moins de 1% de la population active, contre 8 750 en 1968. Les proportions les plus élevées se situent dans les communes rurales des massifs du Lubéron, des Monts de Vaucluse et dans le secteur de Cavaillon. La spécialité maraîchère, viticole et arboricole qui caractérisait fortement la basse Durance et lui donnait ses paysages typiques a subi des crises notables (exemple de la production des pommes confrontée au milieu des années 2000 à la concurrence des pays du sud) qui ont poussé les agriculteurs à augmenter la taille de leurs exploitations, se diversifier et surtout mécaniser leur exploitation pour réduire les coûts de production. A titre d'exemple, ces dernières années les exploitations légumières ont disparu plus vite que les autres exploitations. « Celles qui restent se maintiennent principalement par le développement de techniques de pointe et de culture sous abris haut (pour les fraises, les tomates et les salades notamment). La tendance est à la spécialisation, et au développement d'une production de qualité. Du fait des difficultés économiques de la filière, nombreux sont ceux qui remplacent les légumes par des surfaces céréalières, mieux aidées par la politique agricole commune » (DDE de Vaucluse – DDAF de Vaucluse/Blézat consulting, 2008).

Figure 21 : Evolution de la population selon les catégories socioprofessionnelles entre 1968 et 2010

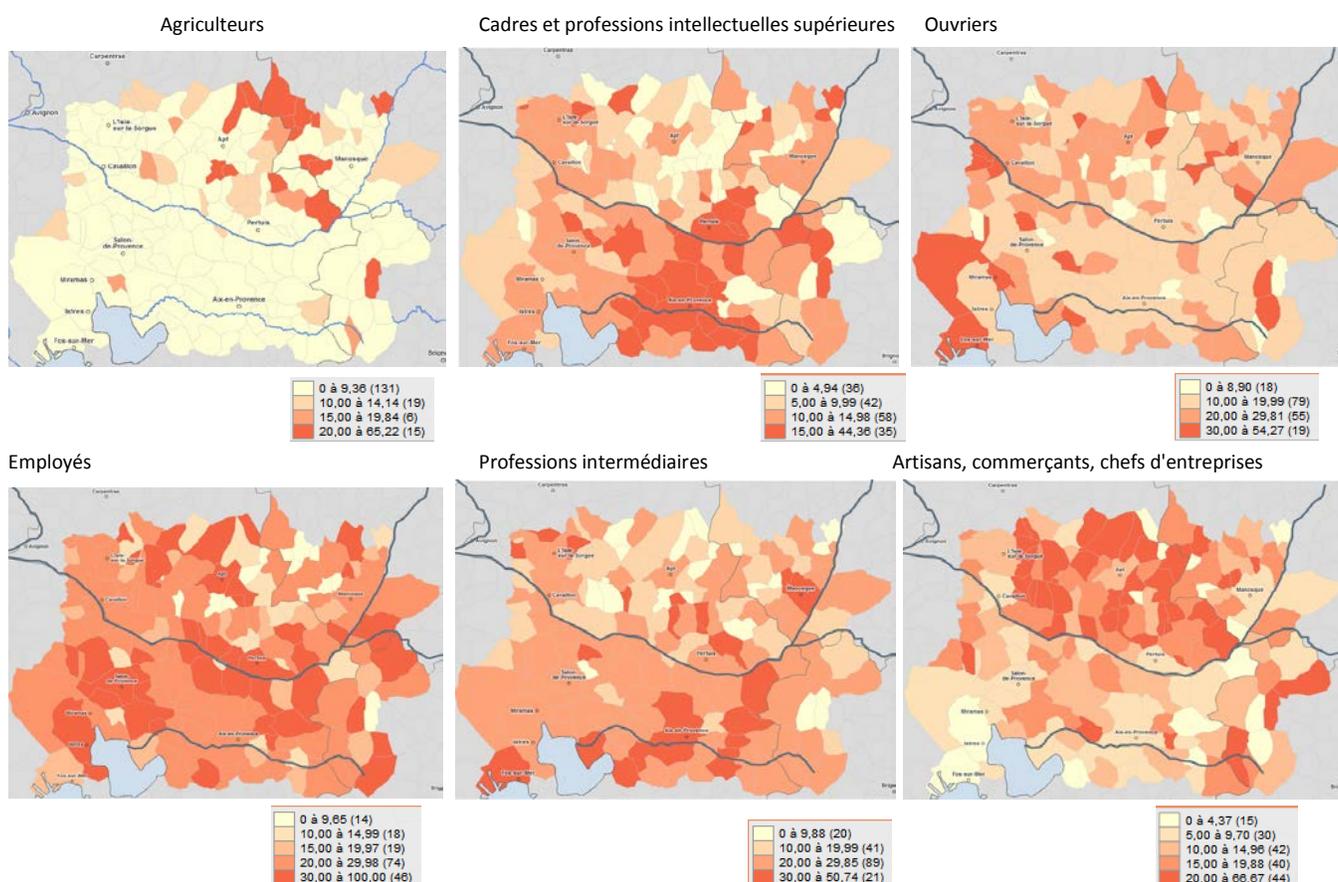


# PHASE 1 : ANALYSE DES DYNAMIQUES SPATIALES PASSEES

Figure 22 : structure socioprofessionnelle de la population en 1968 et 2010



Carte 15- Les catégories socioprofessionnelles en 2010



Les professions intermédiaires et les cadres et professions intellectuelles supérieures ont vu leur nombre et leur poids relatif fortement augmenter, de manière régulière pour les premiers, tandis que les seconds connaissent une augmentation accélérée après 1999. Les emplois de cadres sont en 2010

# PHASE 1 : ANALYSE DES DYNAMIQUES SPATIALES PASSEES

sept fois plus nombreux qu'en 1968 (les professions intermédiaires le sont six fois plus). Ils représentent 18% de la population au lieu d'emploi et se concentrent principalement dans les pôles urbains et les couronnes périurbaines. Au-delà d'Aix-en-Provence où on dénombre près de quatre emplois de cadres sur dix, la commune de Pertuis affiche également une proportion élevée au regard de Cavaillon, Manosque et Salon-de-Provence.

Enfin les artisans, commerçants et chefs d'entreprises sont très présents dans les petites et moyennes communes du nord de la Durance. Cela est à mettre en relation avec le poids de l'économie présente qui regroupe les activités mises en œuvre localement pour la production de biens et de services visant la satisfaction des besoins de personnes présentes dans la zone, qu'elles soient résidentes ou touristes (INSEE).

## ECONOMIE PRESENTIELLE/ECONOMIE PRODUCTIVE

Selon L'INSEE, La sphère présenteielle comprend notamment les activités d'éducation, de santé et d'action sociale, les administrations, le commerce de détail, l'hôtellerie et la restauration, la construction, les activités financières, les services domestiques et le transport de voyageurs.

Dans la sphère productive sont répertoriés l'agriculture, le commerce de gros, la plus grande partie des activités industrielles, les services aux entreprises, la recherche, les activités liées à l'énergie... Globalement, les activités de l'économie productive sont orientées vers les marchés extérieurs au territoire et suivent une logique de l'offre compétitive, alors que l'économie présenteielle suit une logique de réponse à la demande de la population présente.

### La sphère présenteielle

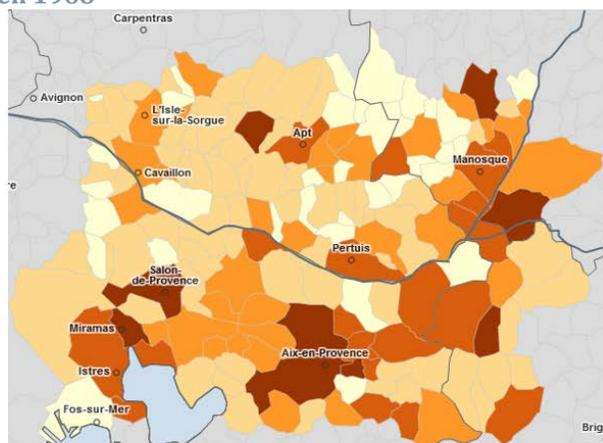
L'économie présenteielle est un facteur de stabilité pour un territoire. Elle permet la captation de revenus extérieurs et n'est pas exposée au processus de compétition mondiale car elle n'est pas délocalisable. Cependant, elle présente l'inconvénient d'offrir des emplois souvent moins rémunérateurs et plus précaires que l'économie productive, principalement en raison de la saisonnalité du tourisme et de niveaux de qualification plus faibles. Quatre facteurs favorisent le développement de l'économie présenteielle : l'attractivité du territoire en termes d'emploi, le niveau de vie de la population, l'importance et la régularité de la fréquentation touristique et le maintien d'une économie productive. Les activités présenteielles permettent à des territoires ruraux de valoriser économiquement leur cadre de vie.

En 1968, l'économie présenteielle représente 55% des emplois. Elle se concentre dans les principaux pôles urbains et dans quelques communes touristiques telles que Gréoux-les-Bains (Thermalisme) ou Roussillon. En 2010, l'économie présenteielle s'est diffusée sur l'ensemble du territoire quelle que soit la taille des communes. Dans plus d'une commune sur deux, le poids de

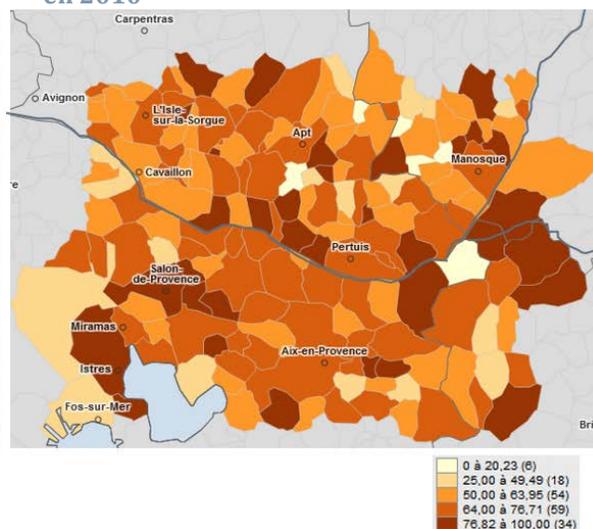
# PHASE 1 : ANALYSE DES DYNAMIQUES SPATIALES PASSEES

l'économie présentielle est supérieur à la moyenne nationale (64%). L'importance de l'économie présentielle tient cependant à des facteurs différents en fonction des communes, de leur taille et leur localisation.

**Carte 16- Le poids de l'économie présentielle en 1968**



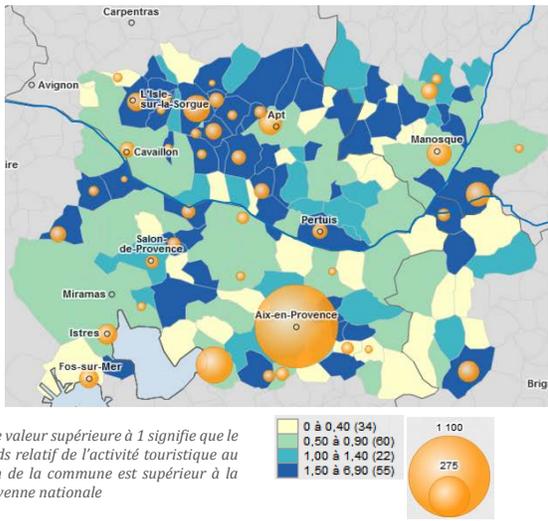
**Carte 17- Le poids de l'économie présentielle en 2010**



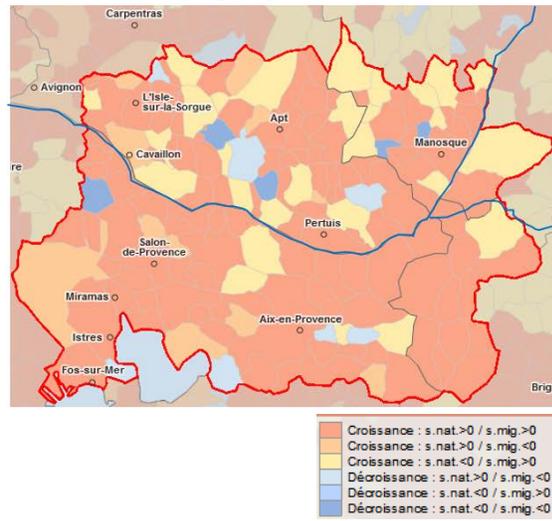
Ainsi, au sein des pôles urbains aixois et salonnais ainsi que dans leur périphérie proche, différents éléments concourent à l'importance de l'économie présentielle : des revenus fiscaux médian relativement élevés, un nombre d'emplois élevé au regard du nombre d'actifs, une activité touristique importante et un dynamisme démographique tant lié au solde naturel qu'au solde migratoire (cartes 18 à 22). En revanche, le développement de l'économie présentielle dans le parc régional du Lubéron ou dans le Haut-Var (Vinon-sur-Verdon, Rians, Saint-Julien, La Verdière) tient davantage à la présence de nombreuses résidences secondaires, un poids des emplois touristiques souvent notable et un solde migratoire favorable même si le solde naturel est parfois négatif. Dans le cas du Lubéron occidental (Gordes, Roussillon, Joucas, Lourmarin), on peut noter la présence de nombreuses chambres d'hôtel de trois et quatre étoiles destinées à une clientèle très aisée ainsi que des revenus fiscaux médians souvent supérieurs à la moyenne nationale.

# PHASE 1 : ANALYSE DES DYNAMIQUES SPATIALES PASSEES

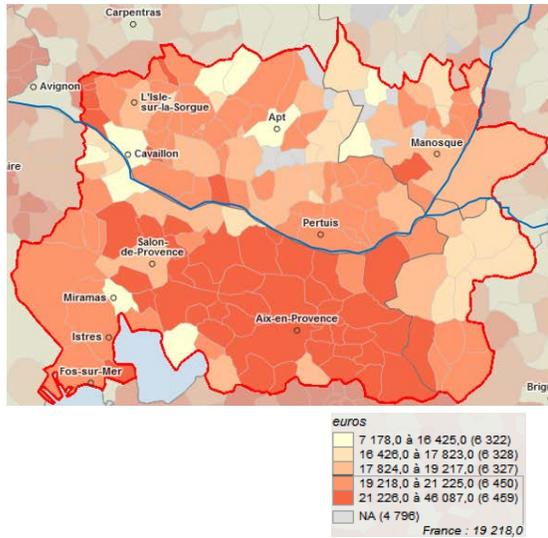
**Carte 18- Poids relatif de l'emploi touristique en 2008 et nombre de chambres d'hôtel de 3 et 4 étoiles**



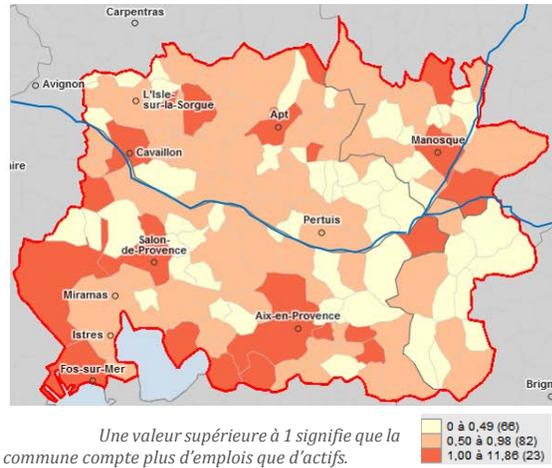
**Carte 19- Les composantes du dynamisme démographique entre 1999 et 2009**



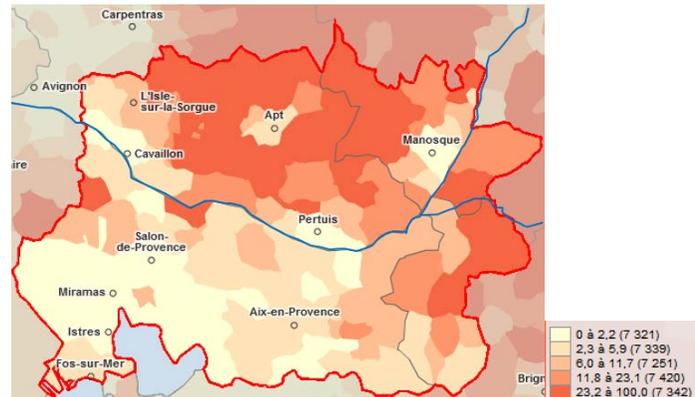
**Carte 20- Revenu fiscal médian en 2011**



**Carte 21- Taux de couverture de l'emploi**



**Carte 22- Part des résidences secondaires et logements occasionnels en 2010**



# PHASE 1 : ANALYSE DES DYNAMIQUES SPATIALES PASSEES

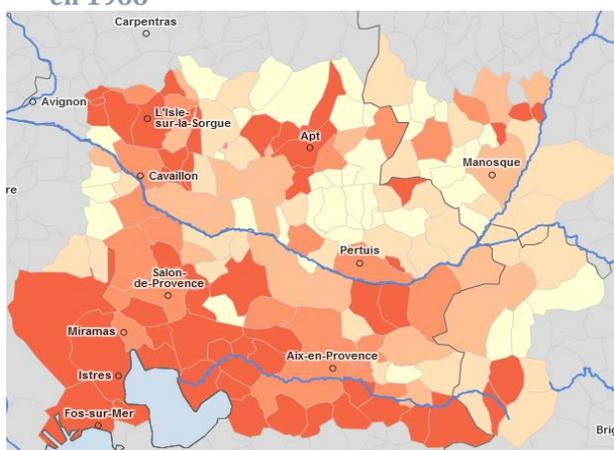
## La sphère productive

Nous ne passerons pas en revue les différents secteurs de la sphère productive du fait de l'absence de données. Nous nous focalisons donc ici sur l'industrie et l'agriculture.

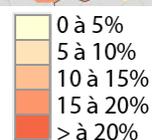
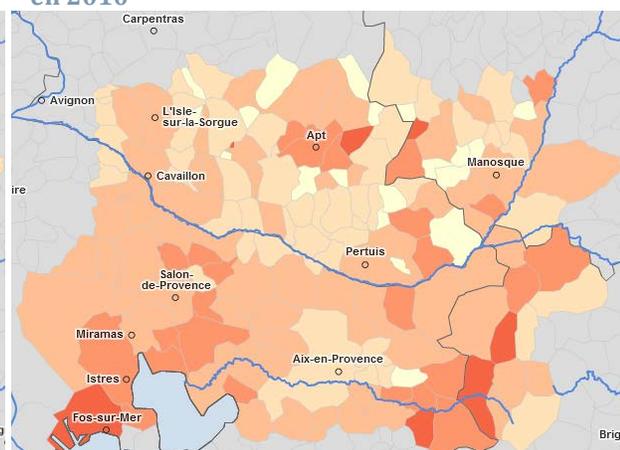
### L'industrie

En 1968, l'industrie est surtout présente dans le quart sud-ouest de la zone étudiée, autour de l'étang de Berre ainsi qu'au sud d'Aix-en-Provence. Le développement de l'industrie, même s'il est plus ancien, a bénéficié de la politique d'aménagement du territoire impulsée par l'Etat dans les années 1960 visant à favoriser le développement de métropoles d'équilibre parmi lesquelles Marseille. La zone industrialo-portuaire de Fos-sur-Mer a été créée en 1968 sur décision de l'Etat français pour dynamiser la région marseillaise en profitant de la maritimisation des échanges et pour concurrencer les ZIP d'Europe du nord. Elle accueille des activités sidérurgiques, de raffinage et stockage de pétrole (déjà présentes autour de l'étang), de chimie, de transport de conteneur ou encore de fabrication de ciment. L'aéronautique constitue également un secteur important dans le secteur de l'étang de Berre. Dans les années 1970, 11 000 emplois se répartissent dans 52 établissements. La société nationale industrielle aérospatiale qui prendra par la suite le nom d'Aerospatial emploie plus de 6 000 personnes à Marignane et à Istres (Barbier et Al., 1974). La zone d'emploi d'Apt affiche également un profil industriel. L'industrie se concentre dans des grands établissements, ce qui peut constituer un risque dans une économie de plus en plus basée sur de petites structures de haute et moyenne technologie.

Carte 23- Le poids des emplois industriels en 1968



Carte 24- Le poids des emplois industriels en 2010



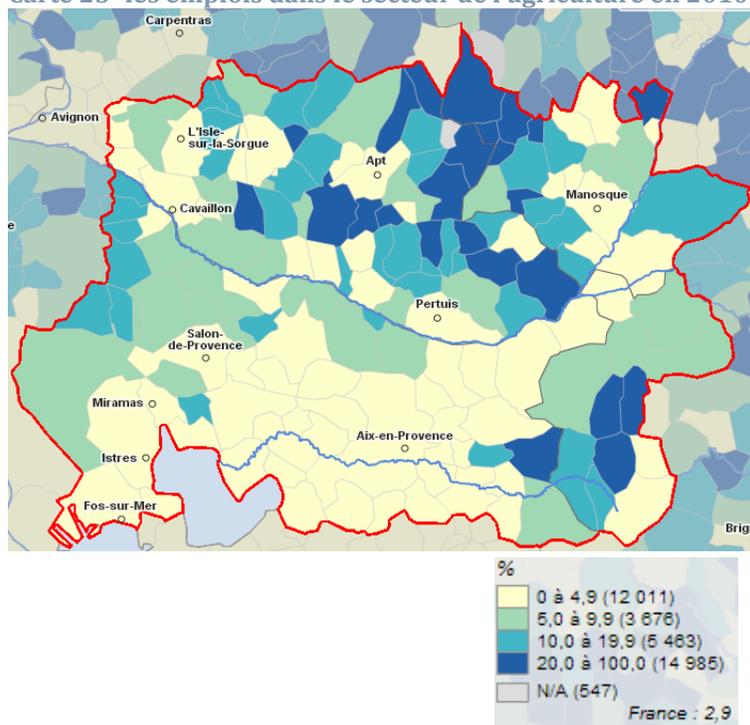
# PHASE 1 : ANALYSE DES DYNAMIQUES SPATIALES PASSES

## L'agriculture

Dans les années 1970, Lévy (1978) indiquait que la Provence occidentale et rhodanienne constituait une région d'agriculture de pointe où les revenus agricoles étaient parmi les plus élevés de France. Les plaines du Vaucluse, riches en eau, apparaissaient comme le grand jardin maraîcher et le verger de la France : les tomates de Carpentras, les melons de Cavaillon, les chasselas du Thor et les asperges de la basse Durance étaient célèbres !

Barbier et al (1974) décrivant l'agriculture en PACA insistait également sur le dynamisme de celle-ci : Les cultures fruitières occupaient, en 1970, 90 000 hectares, c'est-à-dire le quart des superficies de la France. « Les cultures maraîchères et florales, les pépinières, s'étendent sur 28 000 ha, dont 9 000 dans le Vaucluse et 9 000 dans les Bouches-du-Rhône. [...] En valeur, la production légumière représente 15 p. 100 de celle de la France entière. La vigne s'étend sur 238 000 ha, souvent de qualité. La région a produit, en 1970, 14 p. 100 des vins d'appellation d'origine contrôlée (AOC) de la France. Le Vaucluse, avec 10 000 ha, en a fourni les trois quarts, suivi du Gard (un quart). [...] Il s'agit donc bien d'une économie agricole vivante et solide ». L'auteur déplorait également que la Basse Provence occidentale et rhodanienne ne rassemblait plus que 100 000 agriculteurs.

Carte 25- les emplois dans le secteur de l'agriculture en 2010



En 2010 l'agriculture a connu une réduction importante de son nombre d'actifs. La part des emplois agricoles reste élevée au nord de la Durance et dans les collines du Haut-Var. Face à une concurrence de plus en plus forte, les exploitations ont dû s'agrandir et se moderniser. Dans la région de Manosque, Les cultures maraichères et les vergers ont connu une diminution notable au profit des

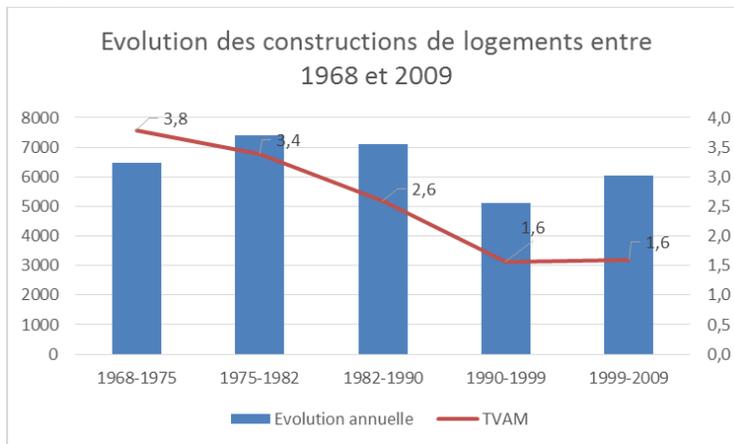
# PHASE 1 : ANALYSE DES DYNAMIQUES SPATIALES PASSEES

cultures de blé dur et des plantes à parfum aromatiques et médicinales. Entre 1988 et 2000, la viticulture est restée stable.

## LE LOGEMENT

Si la population a été multipliée par 2.1 entre 1968 et 2009, le nombre de logements a connu une croissance plus importante (x 2.7, carte 26). Cette progression a été plus forte que celles enregistrées en région PACA (multiplication par 2.1) et en France métropolitaine.

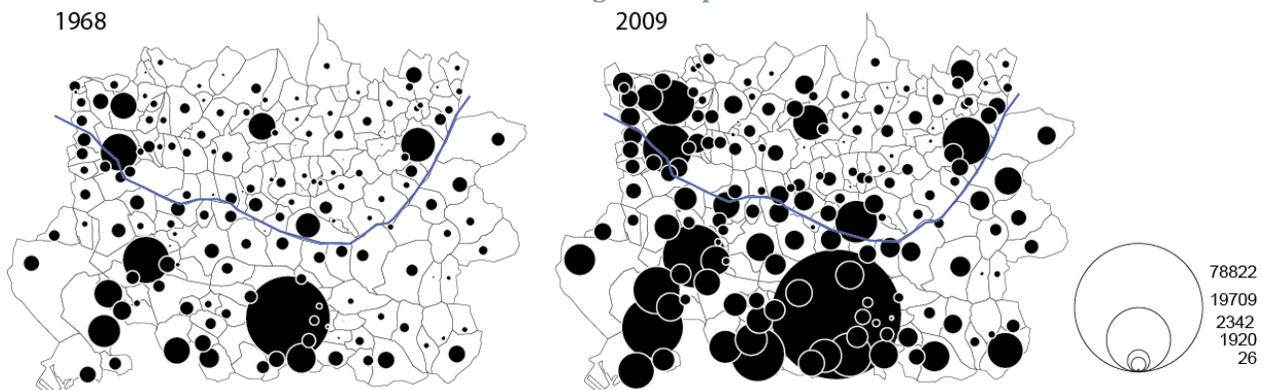
**Figure 23 : Rythmes de construction des logements entre 1968 et 2009**



D'un point de vue quantitatif, on observe des tendances d'évolution proches de celle de la population. Le pic de construction se produit entre 1975 et 1990. Durant cette période, chaque année, on compte plus de 7 250 nouveaux logements. Si le ralentissement observé entre 1990 et 1999 est à l'image de la moindre augmentation de la population (on ne produit plus que 5 100 logements par an), les années 2000 voient une recrudescence importante des constructions (+ 6 050 logements par an) qui ne se vérifie pas pour la population.

On passe ainsi d'une moyenne de 2.7 personnes par logement en 1968 à 2.1 en 2009 au sein de la zone étudiée.

**Carte 26- Evolution du nombre de logements par commune entre 1968 et 2009**

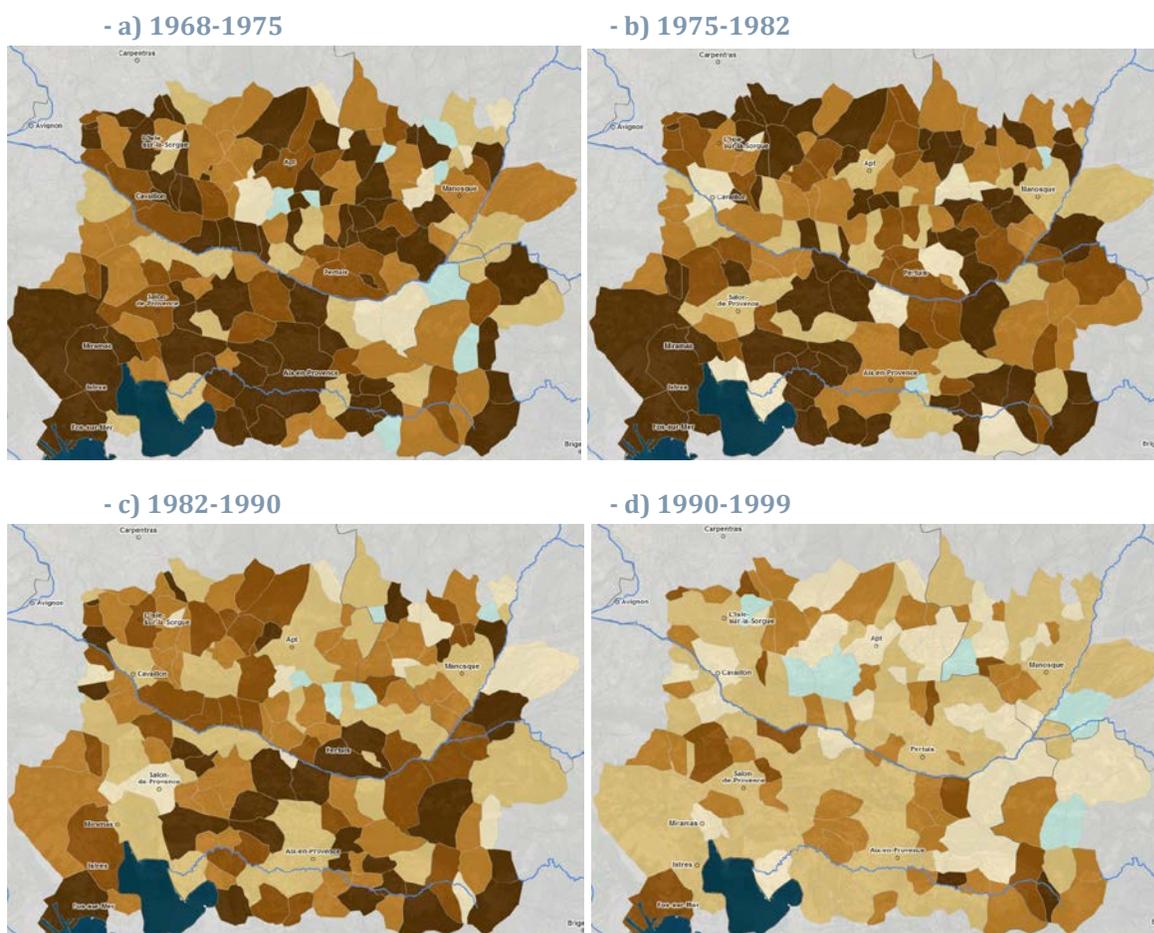


D'un point de vue relatif, l'ensemble des communes, quelle que soit leur taille et leur localisation, connaît une croissance de son parc de logements entre 1968 et 2009, la plus faible progression est

# PHASE 1 : ANALYSE DES DYNAMIQUES SPATIALES PASSEES

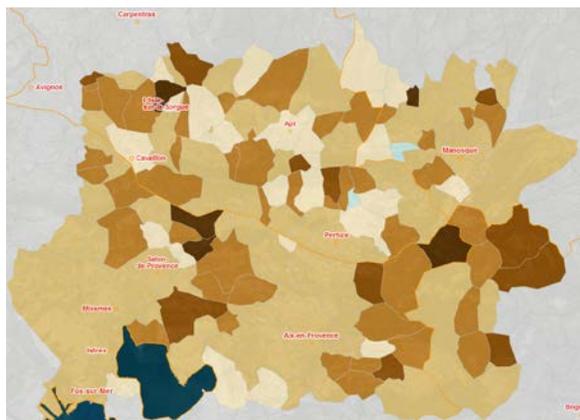
observée dans la commune de Fontaine-de-Vaucluse (+24%) et la plus importante dans la commune de Vitrolles-en-Lubéron (+660%), deux petites communes du Lubéron. Les rythmes de construction les plus importants s'établissent entre 1968 et 1975 (+3.8% par an alors que la population progresse de 2.8 % par an). Durant cette période, la très grande majorité des communes situées dans le quart sud-ouest incluant la ville nouvelle des Rives de l'Etang de Berre, en cours d'aménagement, ainsi que la région Aixoise, affichent des taux de variation annuels supérieurs à 4% (carte 27). Plusieurs petites communes rurales situées au nord de la Durance enregistrent également des progressions importantes. La période 1975-1982 connaît également des rythmes de construction élevés qui concernent tout le territoire observé. Il faut attendre les années 1990 pour trouver des rythmes « assagis » et stables jusqu'en 2010 (+1.6% par an). Ils restent cependant supérieurs à la moyenne nationale (+1.2%) et à l'augmentation de la population. Entre 1999 et 2009 (carte 27), les rythmes de construction annuels les plus importants se trouvent dans les secondes couronnes périurbaines des principaux pôles ainsi que dans certaines communes rurales du Lubéron et du Haut-Var. Le chantier d'ITER explique également la croissance des logements dans le secteur de Saint-Paul-lès-Durance.

**Carte 27- Taux de variation annuel moyen des constructions de logements par période intercensitaire de 1968 à 2009.**



# PHASE 1 : ANALYSE DES DYNAMIQUES SPATIALES PASSEES

- e) 1999-2009



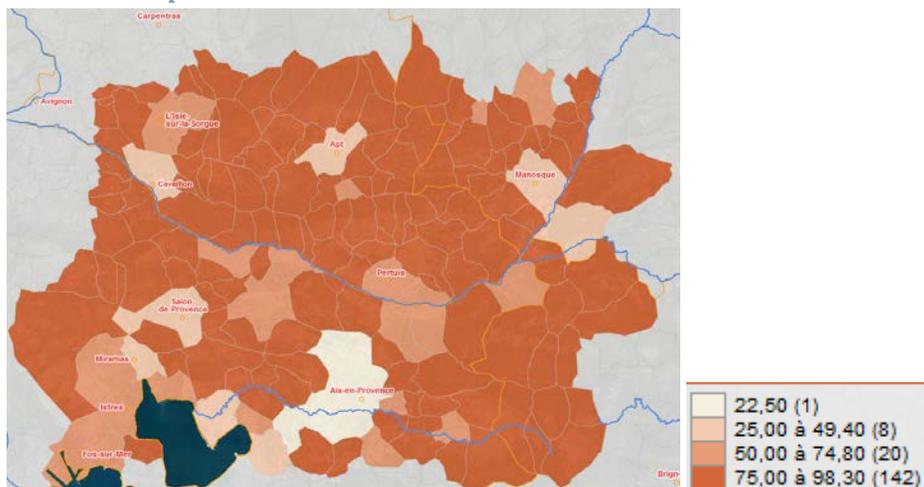
Taux de variation  
annuel moyen (%)



## L'omniprésence de la maison individuelle

Si le nombre de logements a fortement augmenté, la maison individuelle reste très largement prédominante dans la grande majorité des communes (carte 28). En 2009, neuf communes seulement comptent plus d'appartements que de maisons. Parmi celles-ci, on trouve les communes plus importantes des principaux pôles urbains (Aix, Manosque, Cavillon, Salon de Provence, Apt et Pertuis) ainsi que les communes de l'étang de Berre qui ont bénéficié de la réalisation de la ville nouvelle qui a privilégié l'habitat collectif (Istres, Miramas, Fos-sur-Mer, Berre-l'étang et Vitrolles). Gréoux-les-Bains, apparait également en raison du développement du tourisme lié au thermalisme sous forme de villages vacances ou de résidences hôtelières propices à la construction de logements collectifs. La commune compte également beaucoup de retraités (carte 14) qui privilégient un habitat collectif plus apte à assurer la présence d'équipements et de services (Jamot, 1988).

Carte 28- Proportion communale de maisons individuelles en 2009

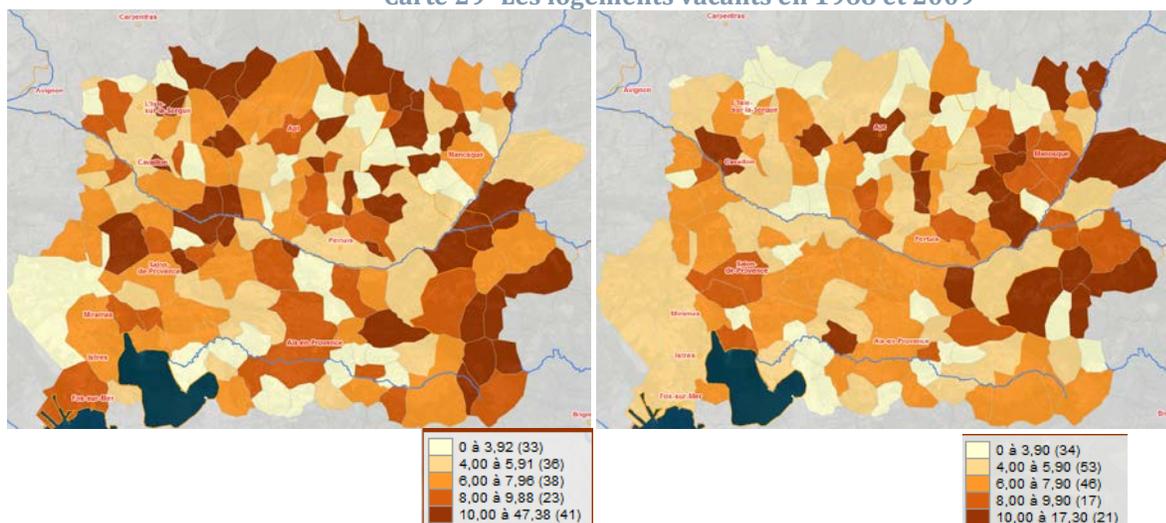


# PHASE 1 : ANALYSE DES DYNAMIQUES SPATIALES PASSEES

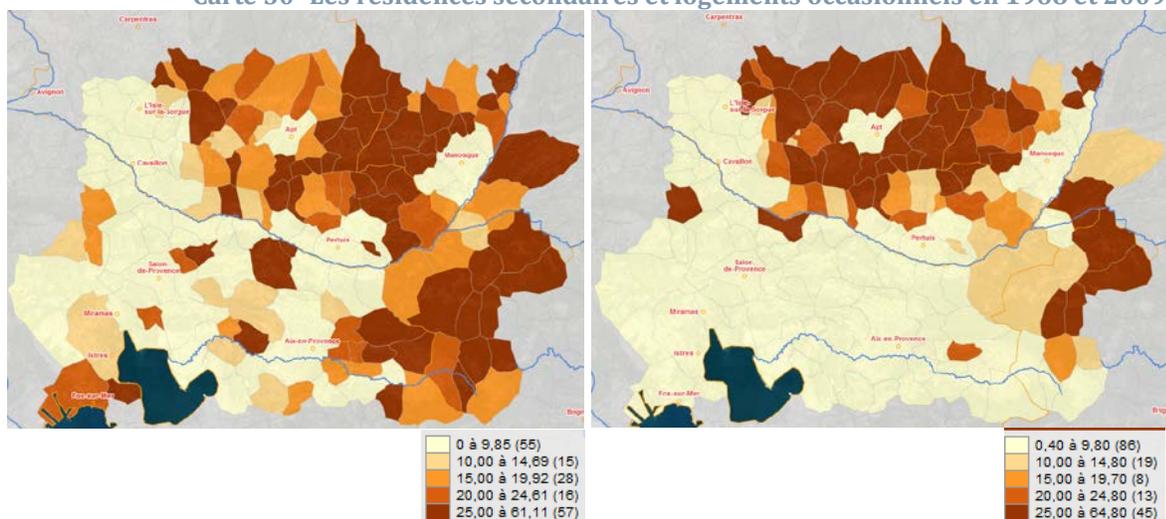
## De plus en plus de résidences principales

En 1968, 84% des logements sont des résidences principales, 8.8% des résidences secondaires ou des logements occasionnels et 7.2% logements vacants. Si la répartition des logements vacants ne semble pas être liée à la taille de la commune où sa localisation (carte 29), les résidences secondaires se concentrent majoritairement dans le Lubéron, les Monts de Vaucluse, le plateau de Valensole et les collines du Haut-Var. On trouve également une proportion élevée de résidences secondaires sur la commune littorale de Fos-sur-Mer (carte 30).

Carte 29- Les logements vacants en 1968 et 2009



Carte 30- Les résidences secondaires et logements occasionnels en 1968 et 2009



La période 1968-2010, est marquée par une croissance notable de la proportion de résidences principales (86,8% en 2010) majoritairement aux dépens des résidences secondaires et logements

# PHASE 1 : ANALYSE DES DYNAMIQUES SPATIALES PASSEES

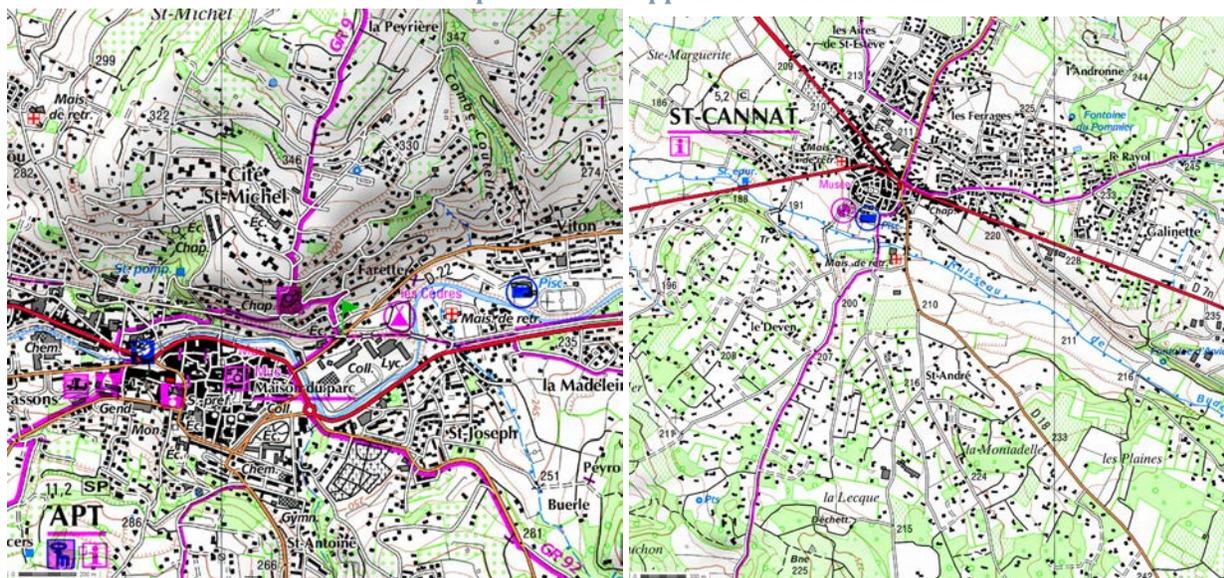
occasionnels. Les logements vacants déjà peu présents en 1968 diminuent légèrement (6.6% en 2010), la baisse est plus notable pour les résidences secondaires qui ne représentent plus que 6.6% des logements. Les résidences secondaires restent surtout localisées dans le Lubéron et dans les Monts du Vaucluse qui affichent des proportions supérieures à 25%. Par rapport à 1968, on constate que le phénomène s'est développé dans la partie occidentale de ces massifs (Gordes, Ménerbes, Saint-Saturnin-lès-Apt, etc.) et réduit dans les communes proches de Manosque dans le cadre du mouvement de périurbanisation des actifs. En revanche, la proportion de résidences secondaires s'est sensiblement réduite dans les communes proches du CEA, du Haut-Var et du plateau de Valensole. Trois facteurs expliquent la diminution des résidences secondaires :

- l'arrivée à la retraite de propriétaires de résidences secondaires qui décident de quitter des espaces saturés (littoral ou grande ville) pour s'installer à la campagne ;
- le mouvement de périurbanisation qui s'étend de plus en plus loin autour des grands pôles urbains ;
- la construction d'ITER.

## Quelle consommation de l'espace ?

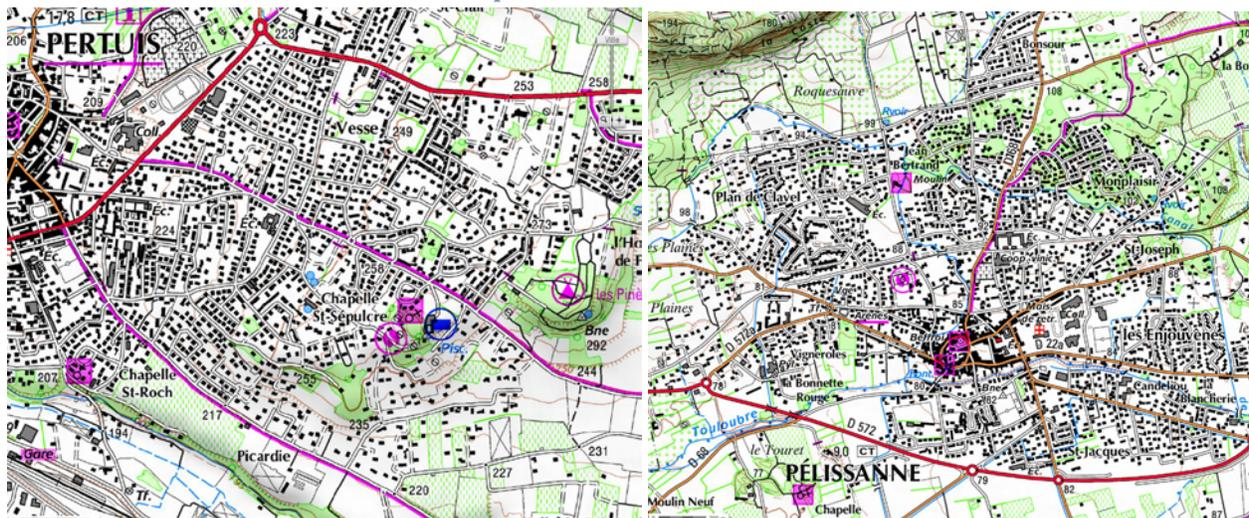
Le développement des logements peut se faire sous trois formes : les logements collectifs, les logements individuels diffus ou relativement isolés (cartes 31) et les logements individuels groupés dans des lotissements (cartes 32). Si l'habitat collectif s'est développé dans les pôles urbains, les deux autres formes de logement colonisent une part notable du territoire étudié.

Carte 31- Exemples de développement résidentiel diffus



# PHASE 1 : ANALYSE DES DYNAMIQUES SPATIALES PASSEES

Carte 32- Exemples de maisons individuelles en lotissements

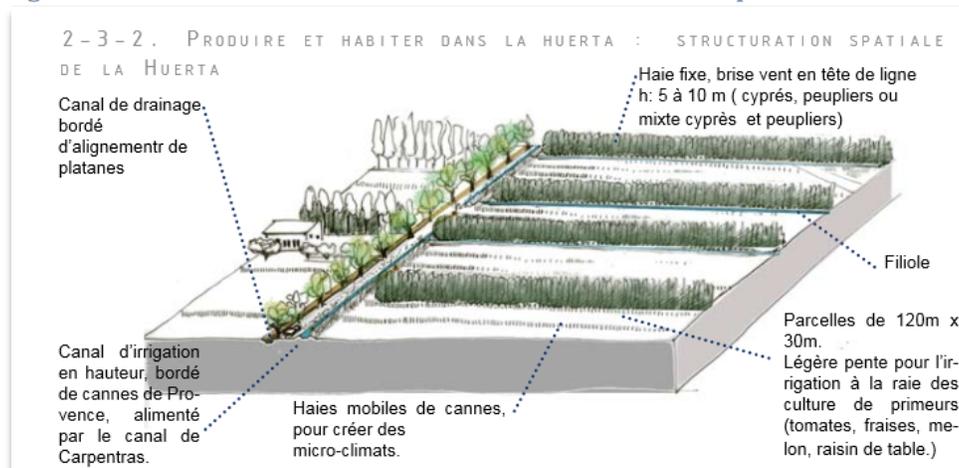


Un mitage de l'espace rural : un phénomène ancien dans les espaces de huerta

En 1970, on note déjà un habitat diffus dans la basse Durance en grande partie lié à sa spécialité maraîchère et fruitière qui s'est développée durant la seconde moitié du XIX<sup>e</sup> grâce à l'irrigation et surtout l'arrivée des chemins de fer. Cette agriculture, de type huerta, par comparaison aux huertas espagnols de la région de Valence, se fait sur de petites parcelles, de 100m x 30m en moyenne, bordées de haies de cyprès ou de peupliers qui font office de brise-vent. Elle demande une attention permanente de l'agriculteur qui doit être quotidiennement sur les parcelles pendant la période de production mais également pour irriguer les cultures. En effet, afin de permettre un partage équitable de l'eau, un système de distribution par « tour d'eau » impose d'être présent de jour comme de nuit pour irriguer les parcelles aux dates et horaires communiqués aux agriculteurs par l'association gestionnaire des canaux, la durée d'irrigation étant elle-même réglementée. C'est la raison pour laquelle, la plupart des exploitants vivent avec leur famille sur leur terre et non dans les villages favorisant ainsi un mitage de l'espace rural.

# PHASE 1 : ANALYSE DES DYNAMIQUES SPATIALES PASSEES

Figure 24 : Produire et habiter dans la huerta : structuration spatiale de la huerta



Source : Communauté de Communes du Pays des Sorgues et des Monts de Vaucluse, 2008-2009. Du jardin béni des dieux au jardin communautaire. En ligne : [http://pas.regionpaca.fr/fileadmin/PAS/Ateliers\\_pedagogiques\\_regionaux/APR%20Pays%20des%20Sorgues%20et%20Monts%20du%20Vaucluse%202008\\_2009.pdf](http://pas.regionpaca.fr/fileadmin/PAS/Ateliers_pedagogiques_regionaux/APR%20Pays%20des%20Sorgues%20et%20Monts%20du%20Vaucluse%202008_2009.pdf)

En 2010, ce mitage s'est sensiblement renforcé, exclusivement du fait des mouvements de périurbanisation et de rurbanisation qui se développent à partir des années 1970. La population urbaine aspire à la maison individuelle au milieu d'un écrin de verdure, le plus loin possible du voisin le plus proche. Face à cette tendance, l'agriculture de huerta, source d'enrichissement jusque dans les années 1970, subit différentes crises. « Le jardin productif n'est plus rentable et les héritiers de ce patrimoine agricole spéculent en «cultivant la friche» » (Ecole Nationale Supérieure du Paysage - Région PACA, 2009). De nombreuses parcelles agricoles sont vendues aux particuliers qui y bâtissent leur maison, même si la SAFER dispose d'un droit de préemption pour maintenir l'activité agricole. Les cabanons agricoles se durcissent progressivement, puis s'agrandissent. «Les plus grosses communes urbaines sont les plus grosses communes agricoles» (Durbiano, 1997). Ce mouvement est renforcé dans les années 1980, avec la décentralisation. « L'Etat délègue les compétences d'urbanisme aux communes qui n'hésitent pas à ouvrir à l'urbanisation de nombreuses terres arables. La logique de développement touristique et l'envolée du prix du foncier encouragent les habitants du jardin à accueillir de plus en plus de citadins selon un modèle contemporain de diffusion de l'habitat. La périurbanisation est faite, comme partout en France, de quartiers pavillonnaires et de zones d'activités, par opportunité foncière et de préférence le long des voies de circulation » ( Ecole Nationale Supérieure du Paysage - Région PACA, 2009).

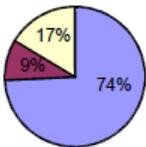
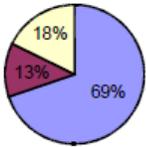
Le développement de l'habitat individuel, prend des formes plus ou moins lâches en fonction des communes et des époques. Une étude menée en 2008 par le CETE Méditerranée sur les constructions neuves<sup>2</sup> entre 1990 et 2004 dans le Val de Durance (Pertuis, Manosque, Gap, Briançon) montre que

<sup>2</sup> Etude réalisée à partir de la base de données SITADEL renseignée de manière déclarative par les communes, elle n'est donc pas exhaustive.

# PHASE 1 : ANALYSE DES DYNAMIQUES SPATIALES PASSEES

les 2/3 des nouvelles constructions sont des logements individuels relativement isolés, 10% des logements individuels groupés (lotissements) et 23% des logements collectifs. Le nombre moyen de logements par hectare est de trois concernant les logements individuels relativement isolés, dix concernant l'individuel groupé et trente-huit concernant les logements collectifs. Le nombre moyen de logements à l'hectare construits entre 1990 et 2004 est ainsi, 1.5 fois plus faible que celui observé en région PACA, ce qui révèle une poursuite de l'étalement urbain sous une forme diffuse.

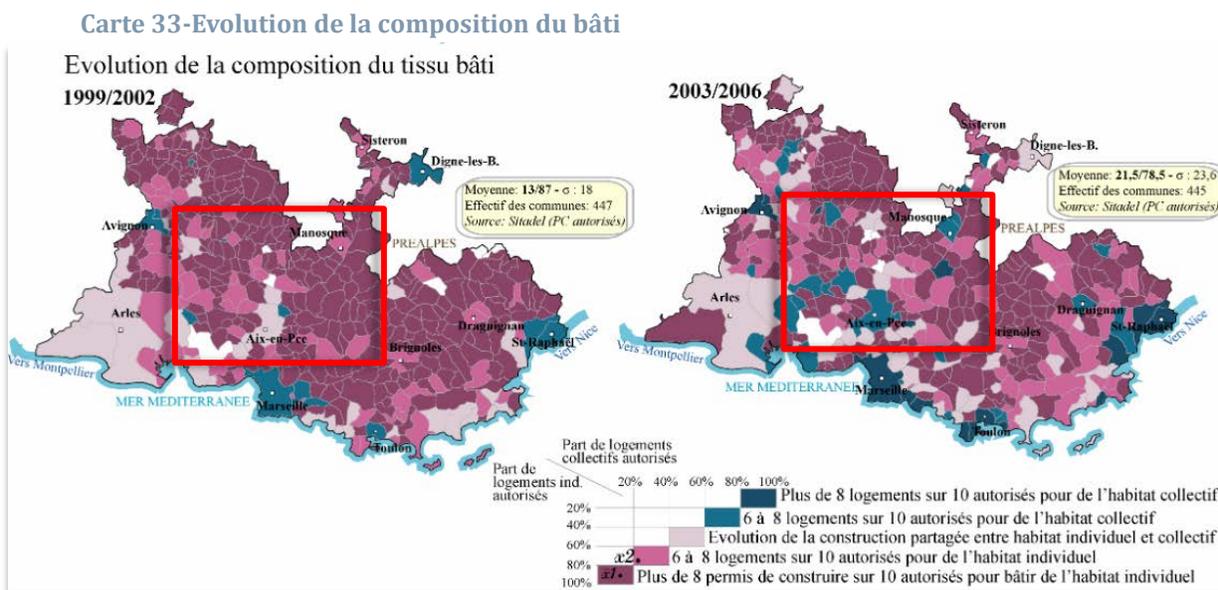
**Tableau 3: Nombre moyen de logements à l'hectare par forme de construction dans les secteurs de Pertuis et de Manosque**

Période 1990-2004		Logts individuels	Logts individuels groupés	Logts collectifs	Total
<b>Secteur de Pertuis</b>					
	Nb de logements	5 707	712	1 269	7 688
	Ratio logement/ha	3	8	41	3
<b>Secteur de Manosque</b>					
	Nb de logements	3 984	714	1 008	5 706
	Ratio logement/ha	4	11	39	5

Source : CETE méditerranée, 2008. Contribution au dire de l'Etat sur le Val de Durance. Note sur l'occupation et la vocation de l'espace. En ligne : [http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Note\\_VdD\\_-\\_consommation\\_espace\\_cle78cc11.pdf](http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Note_VdD_-_consommation_espace_cle78cc11.pdf)

A une autre échelle, celle des territoires de Provence intérieure, littorale et préalpine, et sur une période plus récente (1999-2006), Laure Casanova (2010) montre que la maison individuelle reste la forme de construction majoritaire dans plus de 90% des communes de notre terrain d'étude entre 1999 et 2006 (carte 33 cadre rouge). Si la période 2003-2006 voit davantage de communes privilégier les constructions de logements collectifs, le phénomène reste localisé dans les communes-centres des principaux pôles urbains et à Saint-Paul-lès-Durance.

# PHASE 1 : ANALYSE DES DYNAMIQUES SPATIALES PASSEES



Laure CASANOVA - UMR 6012 ESPACE

Néanmoins, comme nous l'avons vu précédemment, il faut distinguer la maison individuelle relativement isolée, fortement consommatrice d'espace et favorisant le mitage de l'espace rurale, de celle située dans un lotissement, généralement localisé en continuité de l'espace construit (village ou ville) sur des parcelles plus restreintes. A défaut de logements collectifs, le lotissement répond davantage aux exigences de densification des communes imposées par la loi solidarité et renouvellement urbain de 2000 (SRU). Il constitue également une réponse pour les communes qui ont peu de réserves foncières.

La carte 34 distingue les constructions de maisons individuelles en lotissement de celles construites sous une forme isolée entre 1999 et 2006<sup>3</sup>. Deux ensembles se distinguent nettement de part et d'autre d'une diagonale nord-ouest, sud-est allant d'Avignon à Saint-Maximin-la-Sainte-Baume :

- Le premier, au sud-ouest, déjà fortement urbanisé, où les coûts du foncier sont élevés et où les terrains destinés à la construction de maisons individuelles sont majoritairement dans des lotissements ;
- le second, au nord de la Durance et dans les collines du Haut-Var, où la maison individuelle relativement isolée avec de grands terrains reste dominante, ce qui renforce le mitage de l'espace rural déjà très présent.

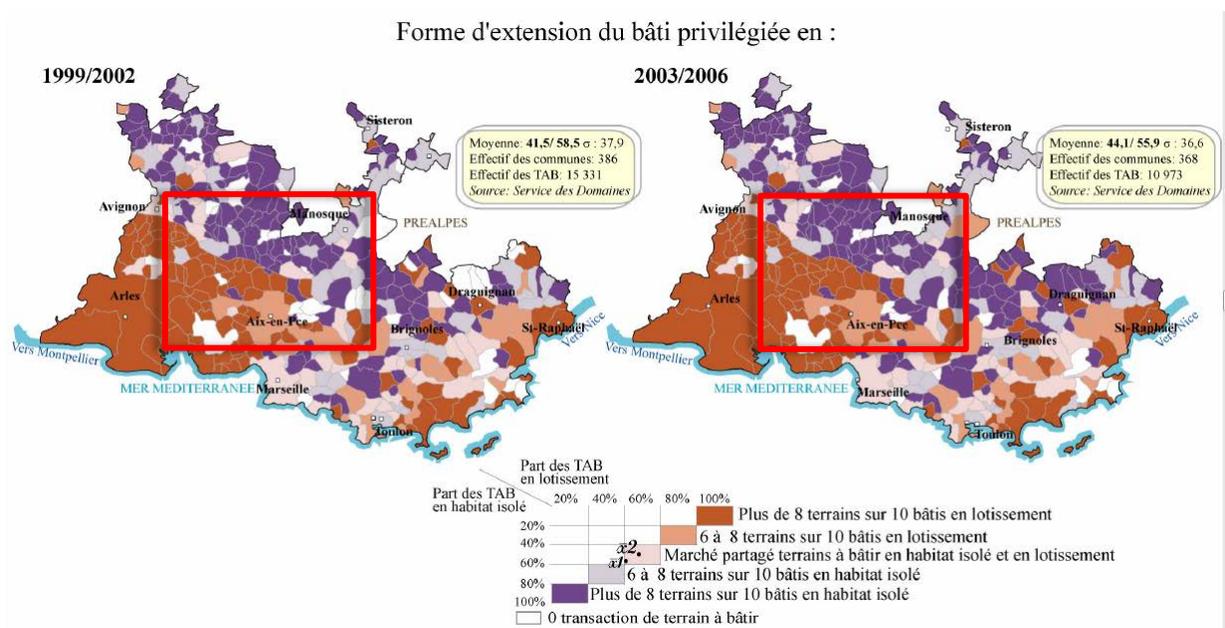
*« Les nouveaux espaces résidentiels dotés d'une plus large assiette foncière, sont essentiellement marqués par un phénomène de mitage urbain qui correspond à une logique*

<sup>3</sup> La carte a été construite en excluant les valeurs extrêmes, c'est-à-dire en ne retenant pas le premier et le dernier décile: on a ainsi les profils de transactions les plus courantes entre 1999 et 2006 (Casanova, 2010).

# PHASE 1 : ANALYSE DES DYNAMIQUES SPATIALES PASSEES

*d'extension du bâti très consommatrice d'espace. Elle renforce le phénomène de périurbanisation généralisé en Provence et principalement alimenté par la conquête des espaces agricoles (Courtot, 2005 ; Daligaux, 2001 ; DRE Paca, 2007 ; Perrin, 2009). Elle traduit d'ailleurs une contradiction des comportements des acquéreurs. En effet, ces terrains sont en majorité acquis par des familles ou des retraités et correspondent globalement à des individus en milieu et fin de parcours résidentiel (Bonvalet, 2005). Au cours de la période, ceux-ci ont été incités à se porter acquéreur de leur habitation du fait des facilités d'accès au crédit immobilier et du coût élevé des loyers. Au-delà de la recherche d'un cadre de vie à la campagne, ces ménages veulent être connectés aux infrastructures de communications et disposer des principaux équipements et services de proximité alors que ces terrains en sont par définition dénués (Fol, 2010) »(Casanova,2013).*

**Carte 34- Constructions de maisons individuelles en lotissement et sous une forme isolée entre 1999 et 2006**

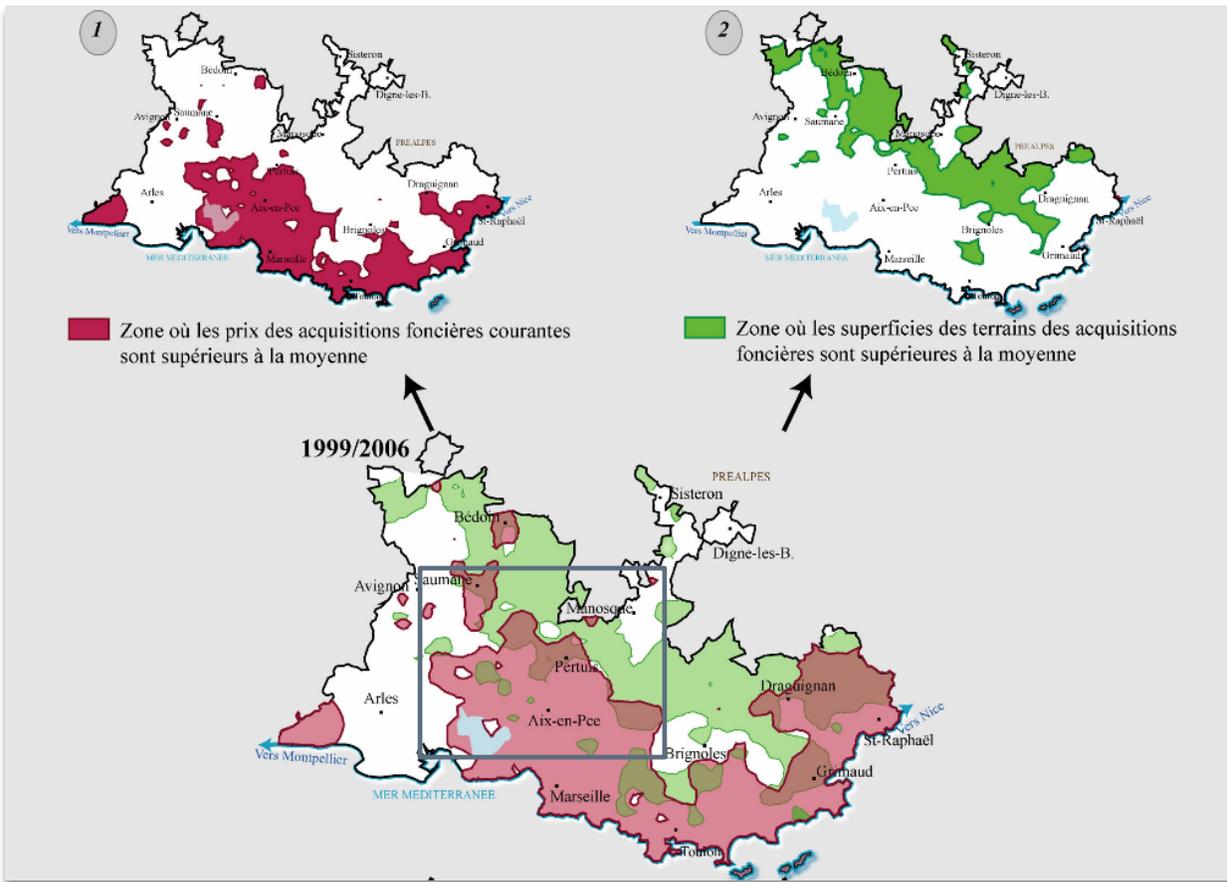


Laure CASANOVA - UMR 6012 ESPACE

La carte 35 permet de constater que la taille des parcelles est fortement conditionnée par les coûts du foncier. Les parcelles les plus grandes acquises entre 1999 et 2006, sont en général dans des secteurs où le coût du foncier est inférieur à la moyenne. Quelques secteurs, parfois très touristiques, tels que celui compris entre Pertuis et Lourmarin ou les environs de Gordes, Saumane-de-Vaucluse se distinguent néanmoins par des prix élevés et des tailles de parcelles importantes.

# PHASE 1 : ANALYSE DES DYNAMIQUES SPATIALES PASSEES

Carte 35- Coût et surface des terrains urbanisés entre 1999 et 2006



Laure CASANOVA - UMR 6012 ESPACE

Il apparaît donc que la tendance à construire une maison individuelle sur un terrain de grande taille reste encore importante dans notre zone d'étude en dépit des réglementations urbanistiques qui incitent à consommer moins d'espace. Les secteurs les plus concernés sont soit des secteurs touristiques, soit des secteurs relativement éloignés des principaux pôles urbains où les terrains restent encore abordables. Dans les secteurs sous pression l'habitat individuel reste également dominant mais on observe une gestion plus économe de l'espace. Ceci est lié à la diminution des réserves foncières mais également au coût du foncier qui limite l'achat de parcelles importantes. Dans ces secteurs, le lotissement apparaît comme un compromis raisonnable entre aspiration et revenus.

## CONCLUSION

En une quarantaine d'années, notre zone d'étude a connu d'importantes transformations. Si on est face à un espace essentiellement rural en 1968, le caractère urbain s'est affirmé durant la période observée sous le double effet de l'extension spatiale des principaux pôles urbains et du développement de leur couronne périurbaine. En 2010, deux pôles urbains structurent fortement notre espace : celui d'Aix-Marseille et celui d'Avignon qui est hors de notre zone d'étude mais dont la couronne périurbaine s'étend au nord-ouest. Manosque, Salon-de-Provence, Cavaillon et Apt sont également concernées par un phénomène de desserrement au profit des communes périphériques. Les communes des couronnes périurbaines connaissent donc une croissance notable tout comme la plupart des pôles ruraux situés principalement sur reliefs qui bénéficient par ailleurs d'un attrait touristique indéniable.

L'étalement urbain prend surtout une forme de lotissements pavillonnaires dans les zones proches des pôles urbains, uniformisant les paysages. Néanmoins, il n'exclut pas le phénomène de mitage très présent dans la moitié nord de la zone étudiée. Ce dernier était déjà présent dans les secteurs de production maraîchère et fruitière dans les années 1970. En effet, la nécessité d'être quotidiennement sur la parcelle et le souci de se préserver du mistral ont favorisé la construction d'un paysage de bocage avec des habitations sur les parcelles agricoles. Néanmoins, l'accentuation du phénomène au cours des quarante dernières années ne s'explique plus par l'agriculture. Il tient à l'aspiration à la maison individuelle permise par une élévation des niveaux de vie, la motorisation des ménages, le développement du réseau routier et une forme de laisser-faire des élus locaux qui voient dans l'arrivée des populations nouvelles des facteurs de développement économique et de redynamisation de village. Malgré le développement d'une réglementation plus contraignante (loi SRU), le phénomène de mitage était encore très marqué au début des années 2000. Pour faire face à cette urbanisation consommatrice d'espace et conserver l'attrait touristique de la région, certaines communes ont cherché à préserver leurs espaces naturels remarquables en créant des parcs naturels régionaux (on en compte trois dans la zone d'étude).

Néanmoins, l'urbanisation de la zone d'étude est également le fruit d'une politique nationale visant à renforcer le développement économique de la région. En effet, la décision de créer une zone industrialo-portuaire dans le secteur de Fos-sur-Mer/l'étang de Berre ainsi qu'une ville nouvelle et celle d'implanter un centre de recherche nucléaire sur la commune de Saint-Paul-Lès-Durance ont favorisé le développement de secteurs peu peuplés et généré des dynamiques notables en matière d'urbanisation. L'industrie était déjà présente autour de l'étang de Berre, mais la décision de créer le complexe industriel de Fos/Lavéra/étang de Berre (raffinerie, chimie, sidérurgie, aéronautique) et de l'accompagner de la création de la ville nouvelle les Rives de l'étang de Berre a profondément transformé les paysages du sud-ouest de la zone étudiée. De même, l'installation du CEA sur le domaine de Cadarache est venue redynamiser une région en proie à l'exode rural et à l'écart des principaux foyers économiques.

## PHASE 1 : ANALYSE DES DYNAMIQUES SPATIALES PASSEES

En définitive, la période 1970-2010, révèle une transformation rapide d'un territoire devenu très attractif de par ses paysages remarquables mais surtout par sa proximité au littoral et aux principaux pôles urbains. Si la stratégie du laisser-faire a longtemps été dominante au cours des quarante dernières années, on peut s'interroger sur la viabilité de la poursuite d'un tel modèle pour les années à venir.

# Phase 2 : conception et réalisation d'un modèle dynamique par automate cellulaire, pour effectuer une rétrosimulation de l'occupation du sol du domaine compris entre Manosque, Aix-en-Provence et Cavailon

### DESCRIPTION DU MODELE

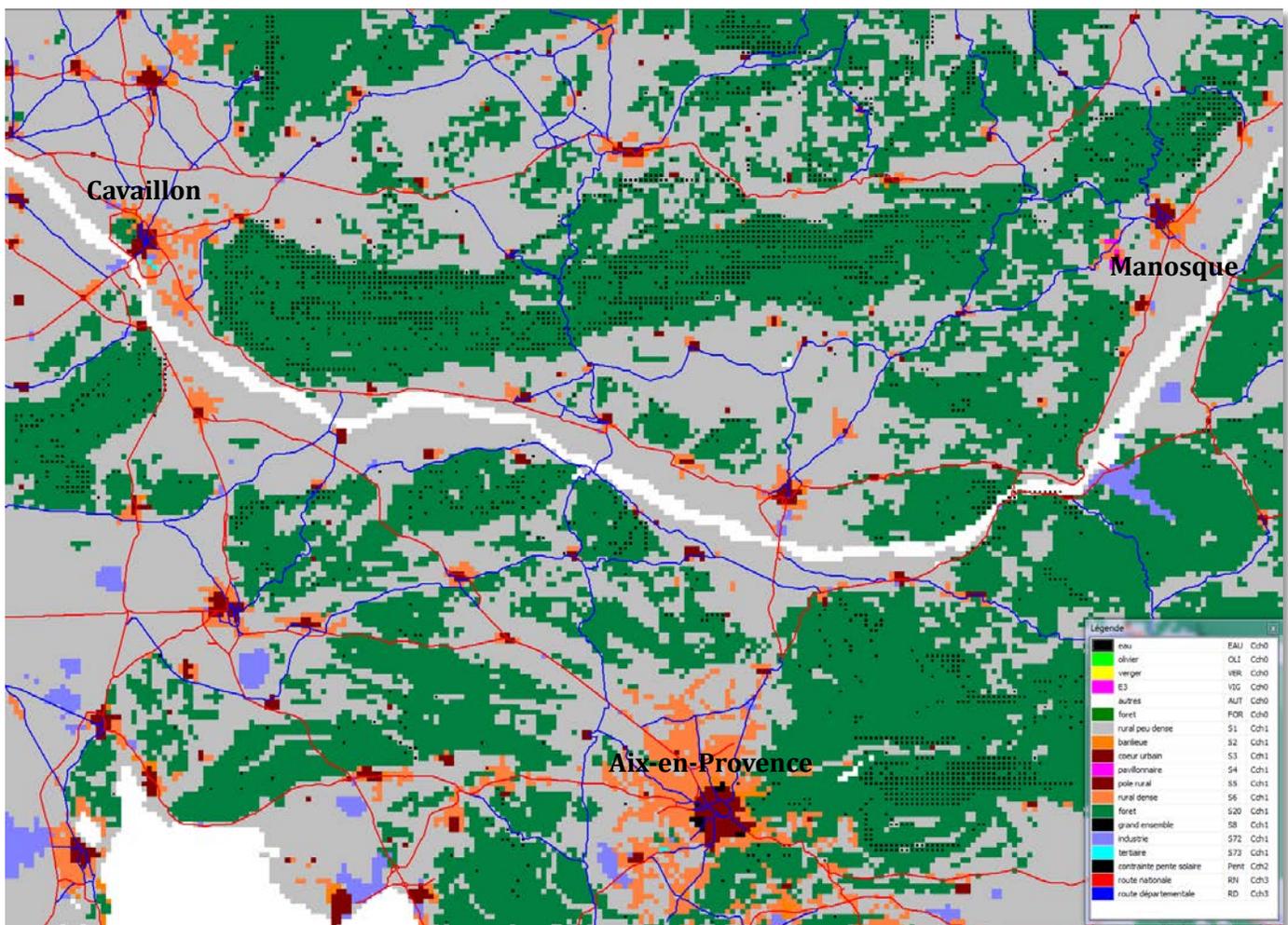
Un modèle SpaCelle est structuré « horizontalement » par son découpage cellulaire du domaine cellulaire et « verticalement » par ses couches graphiques superposées. Chaque couche code une variable d'état du système. Une variable est toujours qualitative et est décrite par un nombre fini d'états. Ainsi, une cellule, qui est au croisement des structures horizontale et verticale, est composée de sa forme (carrée) et de sa position dans le domaine cellulaire, d'un vecteur d'états composé des états qu'elle prend sur les différentes couches. Certaines couches sont actives (des règles de transition modifient leurs états), d'autres sont inactives et servent d'information en entrée pour les règles de transition. Des couches particulières de type linéaire et ponctuelle possèdent aussi des états, elles permettent de gérer les réseaux (routier, hydrographique, etc.). La figure ci-dessous présente quelques couches superposées du domaine d'étude.

Dans notre modèle le domaine observé est un rectangle composé d'un réseau cellulaire de 180 lignes sur 250 colonnes, soit 45000 cellules. Chaque cellule représente sur le terrain un carré de 300 m de côté (soit 9 ha), et le domaine dans son ensemble mesure 54 km de haut sur 75 km de large, soit une superficie de 4050 km<sup>2</sup>. La taille choisie pour les cellules est un compromis délicat entre une volonté de précision spatiale, de niveau de modélisation (on agrège la diversité du contenu géographique d'une cellule, en une seule entité descriptive, son vecteur d'états) et de temps de calcul (qui croît linéairement avec le nombre de cellules, le nombre de couches actives et le nombre de règles, et

## PHASE 2 : RETRO-SIMULATION

selon le carré du rayon de voisinage pris en compte dans ces règles). Les modèles SpaCelle traités ici, contiennent jusqu'à une quarantaine de règles, dont chacune utilise plusieurs voisinages de rayon divers, pouvant aller jusqu'à quelques kilomètres. A titre d'exemple, un rayon de 3km correspond à 10 cellules, soit un disque de voisinage de quelque 314 cellules en métrique euclidienne. Une règle utilisant un seul voisinage de cette taille, examine à chaque pas de temps plus de 14 millions de cellules. Un modèle de 5 couches, 40 règles, contenant en moyenne 5 voisinages, examine à chaque pas de temps entre 3 et 15 milliards de cellules.

Carte 36- Quelques couches issues du modèle concernant le secteur compris entre Manosque, Aix et Cavaillon



Un modèle SpaCelle utilise aussi un certain nombre de paramètres généraux, qui permettent de gérer par exemple, l'ordre dans lequel les cellules sont exécutées à chaque pas de temps. Dans ce modèle nous choisissons un ordonnancement asynchrone, dans lequel, à chaque pas de temps, les

## PHASE 2 : RETRO-SIMULATION

cellules sont exécutées les unes après les autres, une seule fois, et dans un ordre aléatoire qui change à chaque pas de temps, de manière à ne pas créer de biais.

Nous devons définir aussi le type de métrique utilisée qui induit une forme de voisinage, ici nous avons choisi la métrique euclidienne : chaque cellule possède un voisinage qui est un disque discret (formé d'un nombre entier de cellules) autour de son centre, dont la taille est variable selon son rayon.

Un paramètre choisit aussi le poids qu'on veut donner à chaque cellule d'un voisinage, en fonction de sa distance au centre, dans l'évaluation de la pertinence des règles. Dans notre modèle, la pondération décroît linéairement avec la distance au centre pour s'annuler à la frontière extérieure du voisinage.

### CONSTRUCTION DES COUCHES ET DES ETATS ASSOCIES DANS LE MODELE.

Pour construire le modèle, nous avons retenu les six couches suivantes disponibles à différentes dates :

- 1 Agriculture
- 2 Occupation du sol (Habitat & Activités)
- 3 Infrastructures de transport
- 4 Pentes et exposition
- 5 Aires d'influence spécifiques
- 6 Contraintes politiques et environnementales

#### 1- Agriculture (couche surfacique)

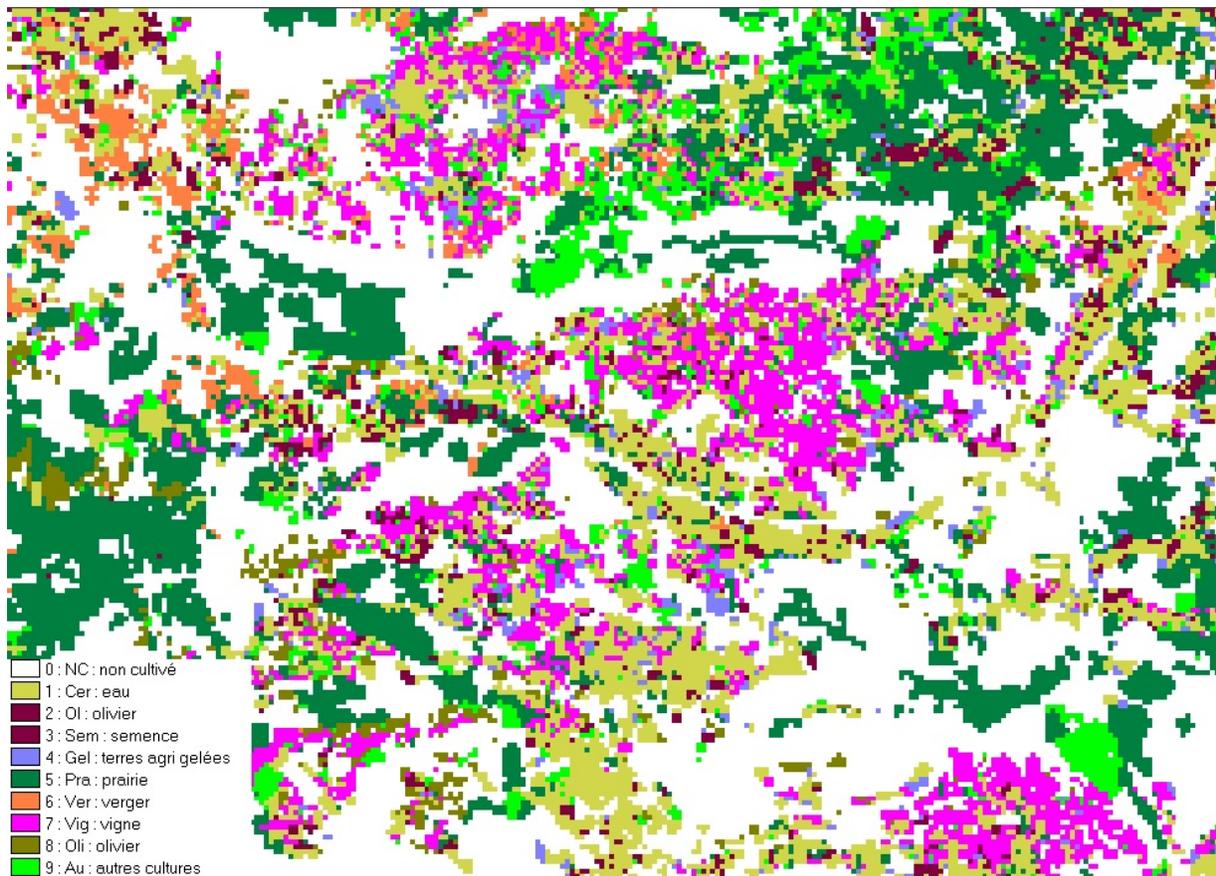
La couche agriculture a été constituée à partir du Registre Parcellaire Graphique (RPG) de 2007. L'état d'une cellule représente la culture de superficie dominante dans la maille. Dix classes d'état sont retenues:

- Céréale
- Oléagineux
- Semence
- Terres agricoles gelées
- Prairie

## PHASE 2 : RETRO-SIMULATION

- Verger
- Vigne
- Olivier
- Autres cultures

Carte 37- la couche agriculture



Cette couche nous a semblé plus spécifiquement intéressante pour la simulation prospective. En effet certains scénarios considèrent que les terres cultivées ne constituent pas un facteur limitant en matière d'urbanisation (scénario tendanciel ou scénario investissement-divertissement) alors que d'autres refusent toute urbanisation sur des terres agricoles (scénario pouvoir régional ou scénario écologie urbaine et territoriale).

Dans le cadre de la rétrosimulation, deux états considérés comme relativement stables dans le temps ont été retenus comme facteurs limitant de l'urbanisation : la vigne qui bénéficie de plusieurs appellations d'origine contrôlée ou protégée et les prairies qui se trouvent surtout dans la plaine de la Crau, depuis l'ouest de Salon-de-Provence jusqu'à Arles et Fos-sur-Mer.

# PHASE 2 : RETRO-SIMULATION

## 2- Occupation du sol (couche surfacique)

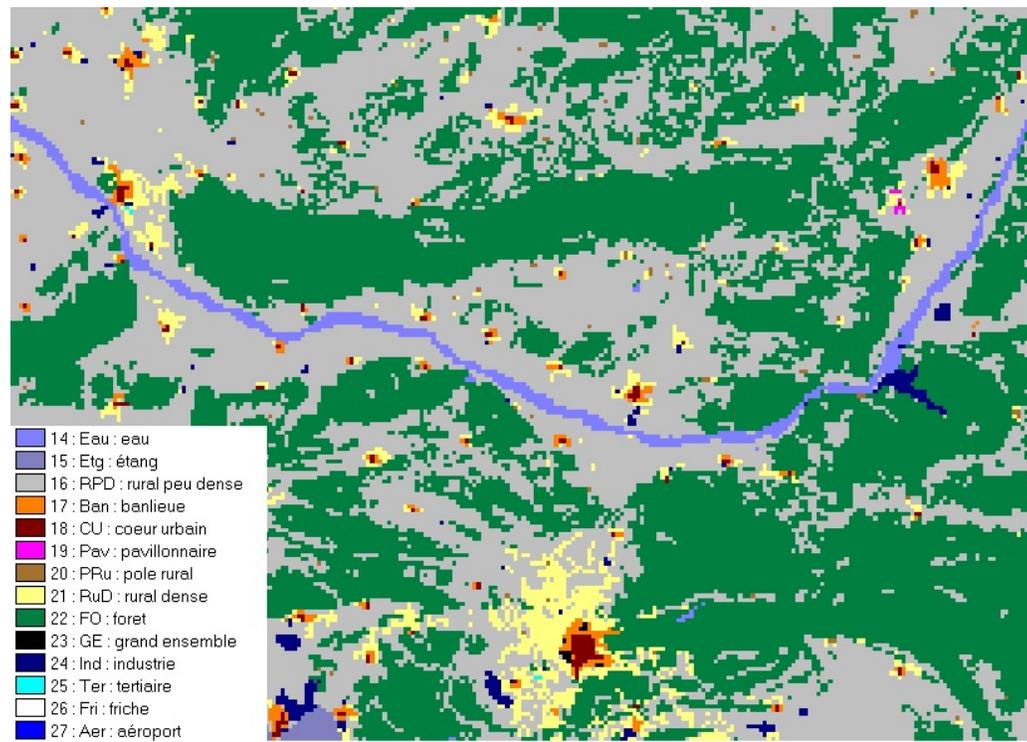
Cette couche comporte 14 classes d'état d'occupation du sol, dont :

- 3 états décrivent des espaces naturels qui excluent toute construction :
  - La Durance,
  - L'étang de Berre,
  - La forêt
- 11 états décrivent les zones artificialisées selon la vocation, la densité et la distribution du bâti :
  - **Rural peu dense** : si le nombre de « bâtiments indifférenciés » par maille est  $\leq 10$ .
  - **Rural dense** : si le nombre de « bâtiments indifférenciés » par maille est  $\leq 35$ .
  - **Pole Rural** : village (emprise spatiale limitée, habitat plutôt dense) avec une population  $> 900$  habitants. Le nombre de bâtiment par maille est  $> 35$ .
  - **Banlieue d'agglomération** : secteur situé autour du centre-ville marqué par une forte densité des bâtiments pouvant cependant être différenciés contrairement au centre-ville.
  - **centre-ville dense d'agglomération** : centre historique, noyau très urbanisé, impossible d'individualiser les bâtiments, qui sont contigus.
  - **Lotissement (ou habitat pavillonnaire)** : une forme d'urbanisation aérée répondant à l'aspiration des classes moyennes d'avoir une maison individuelle avec jardin, loin des pollutions des centres urbains. Développement surtout à partir des années 1970. Distribution régulière des habitations, desservies par des rues en « cul de sac » ou qui ne constituent pas des axes de circulation importants. Bâtiment par maille  $> 20$ .
  - **Grand ensemble** : zone de tours et de barres d'immeubles construite entre les années 1960 et les années 1980.
  - **Industrie**
  - **Activité & Service**
  - **Friche industrielle ou urbaine**
  - **Aéroport militaire**

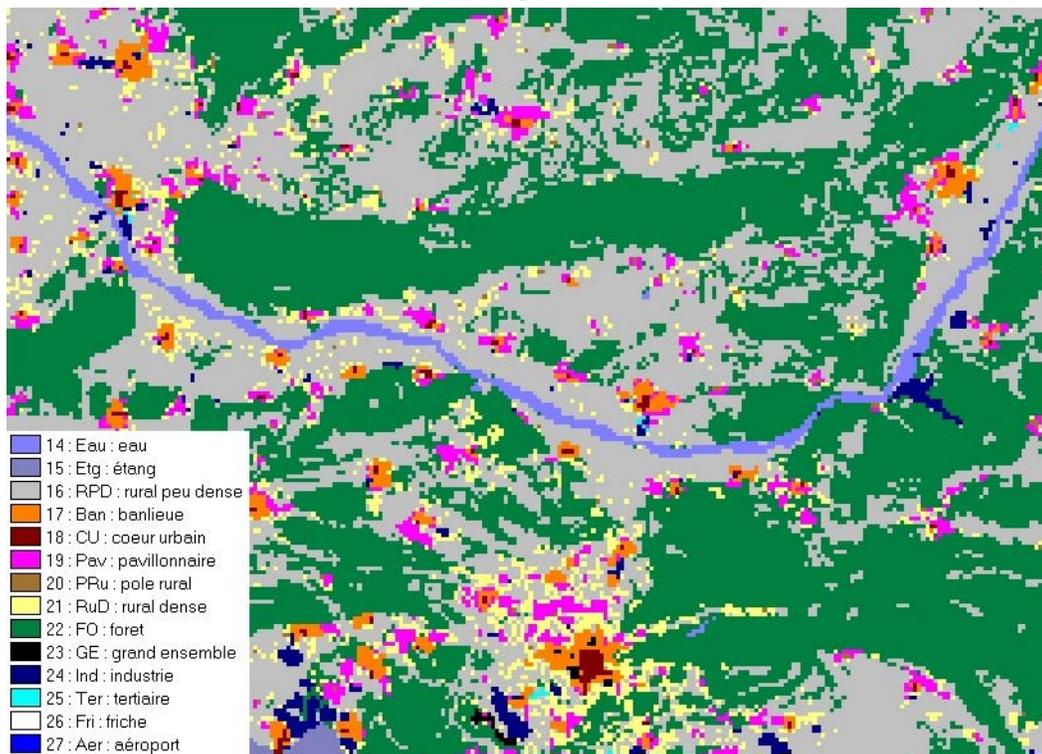
Les classes d'état ont été constituées selon la densité, la vocation et la distribution des bâtiments, en prenant appui sur la BD TOPO de 2010 de l'IGN. Une comparaison a ensuite été réalisée par rapport au début des années 1970 afin d'observer les changements. Cependant, pour les années 1970, l'échelle d'analyse (1/50000è) est différente de celle de 2010 qui est au 1/25000è. Des bâtiments proches dans la BD TOPO de 2010 peuvent n'en constituer qu'un sur les cartes topographiques des années 1970, ce qui tend à réduire le nombre de bâtiments présents sur les cartes des années 1970.

# PHASE 2 : RETRO-SIMULATION

Carte 38- Occupation du sol en 1970



Carte 39- Occupation du sol en 2010



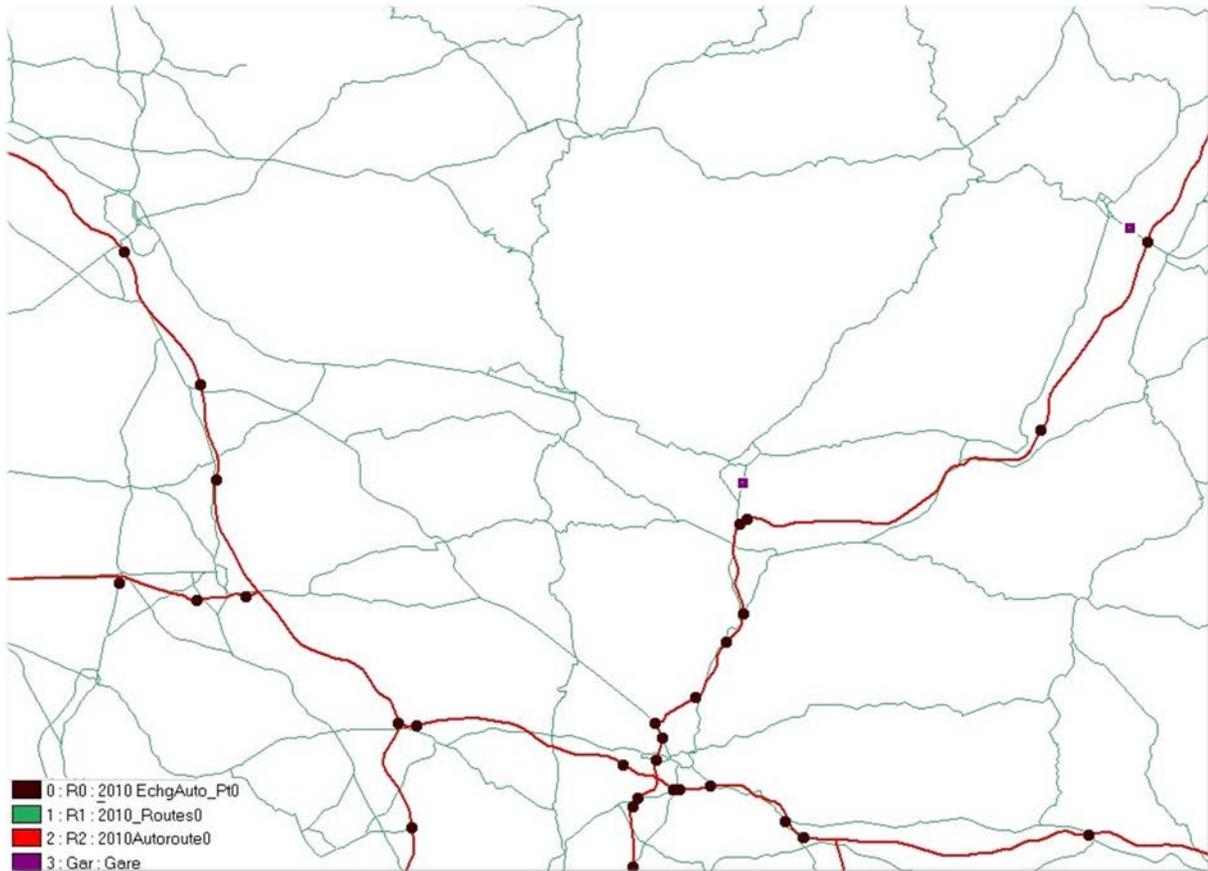
## PHASE 2 : RETRO-SIMULATION

### 3- Infrastructures de transport (couches linéaires et ponctuelles)

3 types d'information sont représentés au sein de cette couche :

- **Autoroute.** Cette information est représentée à la fois sous une forme linéaire et ponctuelle. La représentation linéaire sert avant tout à fournir des repères sur la carte car seuls les échangeurs nous sont utiles pour les simulations dans la mesure où ce sont les points d'entrée et de sortie du réseau autoroutier.
- **Route départementale principale & Route nationale.** Il s'agit d'une information linéaire. Pour la constituer nous nous sommes appuyés sur les cartes Michelin du réseau routier. Contrairement aux autoroutes, l'accès au réseau routier peut se faire en n'importe quel endroit du réseau. Les routes structurent donc davantage le territoire que les autoroutes.
- **Gare.** Contrairement au réseau autoroutier, nous n'avons pas jugé utile de cartographier les lignes de train, seule la localisation des gares nous est utile pour la prospective dans la mesure où l'accès à ce service peut favoriser le développement de l'urbanisation.

Carte 40- infrastructures de transport

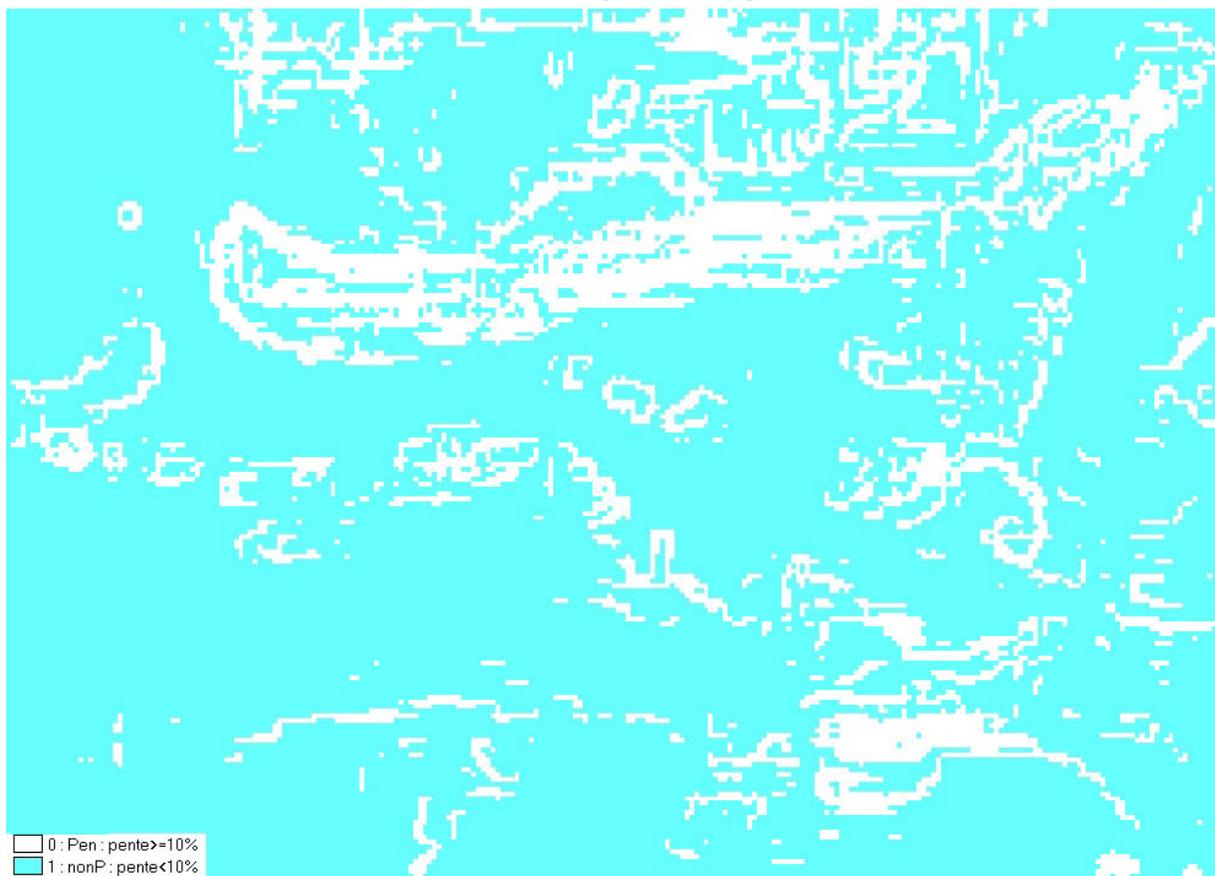


## PHASE 2 : RETRO-SIMULATION

### 4- Pentas et exposition (couche surfacique)

Le relief est un facteur limitant à l'urbanisation. A partir des altitudes, nous avons pu calculer les pentes ou dénivelés et le degré d'ensoleillement. Nous avons défini comme non constructibles les pentes supérieures à 10% et mal exposées. Dans l'absolu, il est toujours possible de construire sur des pentes supérieures à 10% mais l'analyse de plusieurs documents d'urbanisme a montré que ce seuil était souvent retenu pour exiger des précautions spécifiques en matière de nivellement, de taille de façade des bâtiments. Par ailleurs la superposition de cette couche avec la couche occupation du sol en 1970 et 2010 montre qu'il y a peu de constructions dans les cellules identifiées comme ayant de fortes pentes.

Carte 41- pentas et exposition

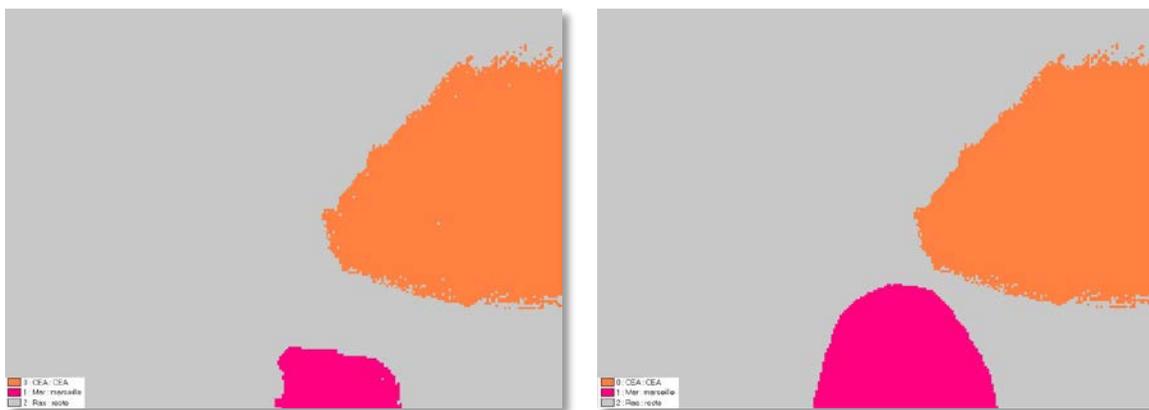


## PHASE 2 : RETRO-SIMULATION

### 5- Aires d'influence spécifiques (couches surfaciques)

Nous avons vu que des décisions prises au niveau national avaient provoqué une urbanisation importante de certains secteurs au sein de notre zone d'étude. Si on peut se contenter d'une distance moyenne autour de l'étang de Berre pour introduire des règles forçant l'urbanisation, il a été nécessaire de tracer deux aires permettant d'introduire des règles spécifiques à certains secteurs en matière de développement urbain. La première aire est celle autour du CEA. Elle a été définie en fonction des entretiens réalisés localement et de l'analyse démographique. Elle ne présente donc pas une forme circulaire, elle privilégie la vallée de la Durance et reste réduite sur le Lubéron (couleur orange). Par ailleurs, nous avons été contraints de définir une aire d'influence marseillaise pour limiter les effets de « bordure ». En effet, les si les bordures de la carte ne posent pas de souci dans des espaces faiblement urbanisés dans la mesure où les voisinages retenus pour construire les règles sont réduits, elles posent davantage problème quand il s'agit de grandes agglomérations où les règles s'appuient parfois sur des rayons importants. C'est ce qui justifie la mise en place au sud de l'aire d'influence marseillaise afin de limiter les effets de bordure tout en insistant sur un développement privilégié du secteur compris entre Aix et Marseille.

Carte 42- A gauche, aires d'influence spécifique en 1970 ; à droite, aires d'influence spécifique pour les scénarios



### 6- Contraintes politiques et environnementales

Ce sont des zonages contraignants en matière d'urbanisation. Ils sont utilisés pour le scénario écologique. Les zonages sont issus du site de l'inventaire national du patrimoine naturel<sup>4</sup>.

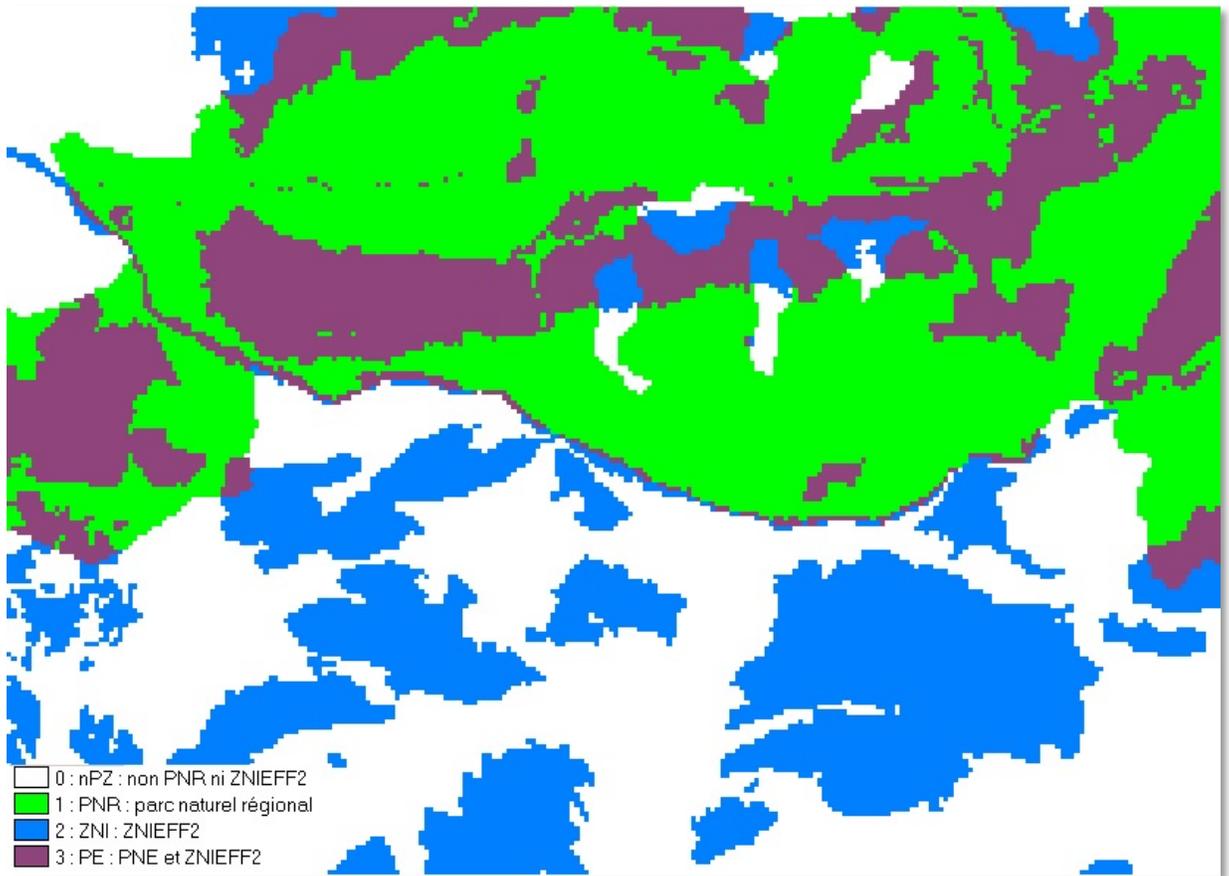
<sup>4</sup> <http://inpn.mnhn.fr/telechargement/cartes-et-information-geographique>

## PHASE 2 : RETRO-SIMULATION

Dans ce scénario écologique, les espaces inscrits dans :

- un parc naturel régional (PNR) ne peuvent pas accueillir d'industrie supplémentaire ;
- des zones naturelles d'intérêt écologique, floristique et faunistique 2 (ZNIEFF2) ne peuvent pas accueillir d'habitat ni d'industrie.

Carte 43- zones protégées ( PNR et ZNIEFF2)



### PRESENTATION DES REGLES DU MODELE DE RETROSIMULATION

L'objectif de cette simulation est de reproduire le plus fidèlement possible l'évolution de l'occupation du sol observée depuis 1970 en s'appuyant à la fois sur la description qualitative des processus à l'œuvre et sur des statistiques qui quantifient cette évolution.

## PHASE 2 : RETRO-SIMULATION

Non seulement la simulation doit pouvoir refléter l'état global final, mais doit aussi représenter de manière assez fidèle la dynamique des processus en œuvre, notamment la croissance de l'urbain (banlieue) et le développement des zones pavillonnaires.

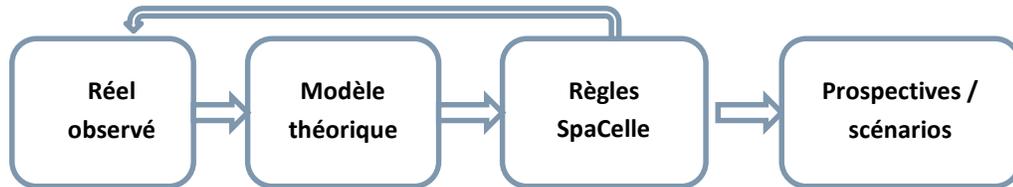


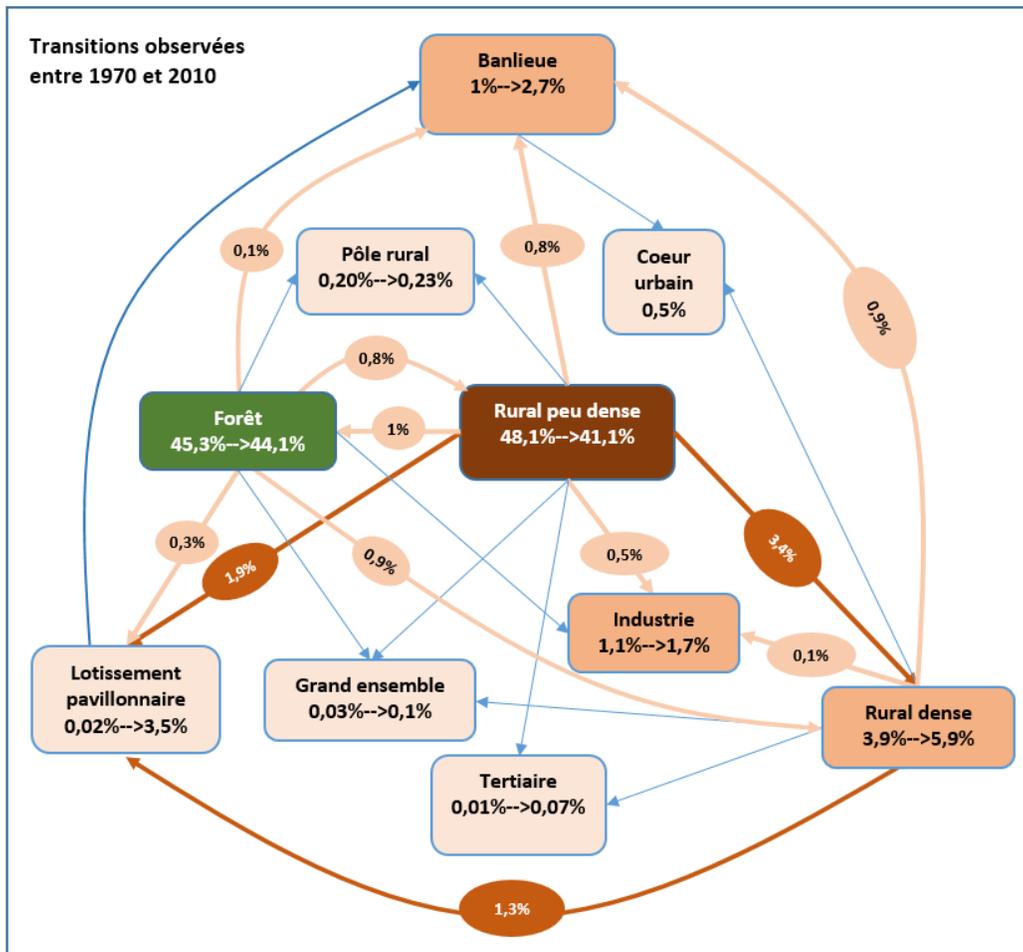
Figure 25 : étape d'une modélisation prospective sous SpaCelle

L'hypothèse sous-jacente d'une modélisation sous SpaCelle repose sur l'idée que la dynamique d'évolution de l'occupation du sol peut être modélisée par des règles spatiales. En effet, la transformation d'une cellule s'opère dans la concurrence entre les conditions environnementales qui agissent sur la cellule pour la faire changer d'état, et l'état interne de celle-ci (dont résulte sa force de vie) qui tend à la maintenir dans son état ; aucune action externe au système n'influence son évolution.

La figure 27 résume les changements d'état des cellules du domaine d'étude entre 1970 et 2010. Elle met en évidence le processus d'artificialisation des terres agricoles puisqu'on dénombre 12.6% de cellules « rural peu dense » en moins en 2010. Les transitions se sont faites principalement au profit du « rural dense » (6.4%), des « lotissements pavillonnaires » (3.6%) et de la « banlieue » (1.5%). Dans un même temps, 4% des cellules « rural dense » se sont densifiées et sont devenues soit du lotissement pavillonnaire (2.4%), soit de la banlieue (1.6%). Au final, les cellules de type banlieue ont été multipliées par 2.6, tandis que les espaces industriels ont augmenté d'un tiers. Le rural dense a augmenté d'un peu plus de 2 points et les lotissements pavillonnaires quasiment inexistantes en 1970, couvrent 6% du domaine étudié en 2010.

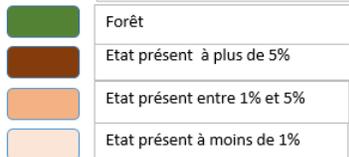
# PHASE 2 : RETRO-SIMULATION

Figure 26 : Importance des transitions observées entre 1970 et 2010.



**Légende :**

- tous les pourcentages sont relatifs au nombre de cellules de type habitat (donc hors: eau, étang)
- sur les flèches de transition : Ce sont les pourcentages de cellules qui ont changé d'état entre 1970 et 2010
- sur les rectangles a% --> b% indiquent :  
a% : pourcentage de cellules d'un type donné en 1970  
b% : pourcentage du même type en 2010



## PHASE 2 : RETRO-SIMULATION

Même si les règles à élaborer dans SpaCelle, ne sont absolument pas basées sur les probabilités de transition observées entre les états, puisque ce sont des règles de « pertinence-action », ces données fournissent des indications utiles pour la phase de conception : savoir quelles sont les transitions les plus importantes, et pour la phase de validation : vérifier si on retrouve après simulation des pourcentages comparables.

Les règles du modèle de rétrosimulation sont conçues après identification des processus géographiques qui se développent simultanément et se combinent spatialement dans le domaine d'étude. Ainsi, chaque processus donne naissance à une ou plusieurs règles de transition qui prennent en charge sa dynamique propre et les types d'occupation du sol concernés.

Les processus géographiques que nous avons identifiés résultent de la phase 1 d'analyse des dynamiques spatiales. Nous les avons différenciés de la manière suivante : développement des pôles ruraux, développement des pôles urbains, développement autour des petits et moyens centres urbains, développement spécifique autour de l'étang de Berre, développement de l'industrie (en dehors de l'étang de Berre), développement spécifique autour du CEA, développement spécifique dans l'aire d'influence de Marseille, développement autour des échangeurs, évolution de la forêt. Viennent ensuite quelques règles de cohérence spatiale, qui ne découlent pas de processus géographiques, mais permettent de respecter des formes de configurations de l'habitat qu'on observe par exemple dans la configuration des grands ensembles de banlieue.

Comme nous l'exposons par la suite, chaque règle est d'abord exprimée de manière conceptuelle et qualitative en français, elle traduit la connaissance que nous avons acquise sur la zone ou les dire des experts consultés, pour être ensuite codée en langage SpaCelle. Ce codage s'accompagne aussi d'une certaine quantification de ce qui est exprimé initialement de manière qualitative en français (comme « assez loin de », « beaucoup plus que », etc.). Cette quantification est soumise à calibration qui consiste à régler des rayons de voisinage, ou des coefficients divers présents dans les règles qui sont testés par des essais de simulation, affinés et validés progressivement au cours du cycle de complexification du modèle. Dans la présentation qui est faite ici, nous avons souvent fait remonter *a posteriori* cette quantification dans le texte en français pour mieux coller à la règle exprimée en langage SpaCelle. Nous présentons ci-dessous les règles du modèle, regroupées par processus qui leur donne leur signification.

### Développement autour des pôles ruraux

#### Développement du rural dense autour des pôles ruraux.

##### Règle 10

## PHASE 2 : RETRO-SIMULATION

*Le rural peu dense peut devenir dense, proportionnellement à l'importance de la banlieue et du pôle rural dans un rayon de 1.5km, à condition que le voisinage proche ne contienne ni pente forte, ni prairie, ni vigne, ni industrie et que l'on se situe au moins à 900m de la Durance. La proximité d'une route principale est nécessaire et la densité de rural dense doit rester faible.*

$Rpd > RuD = AP(PRu+Ban;5) * ZV(Pen;0) * AV(Vig+Pra;1) * ZV(Eau;3) * ZV(Ind;1) * EV(Rte;3) * NV(Rud;3;0;4)$

*Au cours des 15 simulations effectuées, la part des transitions observées due à R10 varie de 19% à 38%*

### Développement du pavillonnaire autour des pôles ruraux.

#### Règle 18

*Le rural dense peut devenir pavillonnaire, proportionnellement à l'importance de la banlieue combinée avec le pôle rural dans un rayon de 600m, s'il existe un pôle rural à proximité et si le voisinage proche ne contient ni pente forte, ni prairie, ni vigne, ni industrie et que l'on se situe au moins à 900m de la Durance.*

$Rud > Pav = EV(Pru;1) * AP(Pru+Ban;1) * ZV(Ind;1) * AV(Pen;1) * AV(Vig+Pra;1) * ZV(Eau;3)$

*Au cours des 15 simulations effectuées, la part des transitions observées due à R 18 varie de 0,8% à 2 %*

**Développement du pavillonnaire autour des pôles ruraux aux dépens du rural peu dense. Elle complète la règle 10 en n'imposant pas la proximité d'une route quand on est près d'un pôle rural (moins de 600m).**

#### Règle 19

*Le rural peu dense est susceptible assez rarement de devenir du pavillonnaire, à proximité des pôles ruraux ou de la banlieue à condition qu'il n'existe pas d'industrie proche et que ce ne soit ni de la vigne ni de la prairie ni la Durance. La relative rareté du pavillonnaire et de la banlieue dans un voisinage plus large constitue également une contrainte.*

$Rpd > Pav = AL(3000) * EV(Pru;2) * AP(Pru+Ban;1) * ZV(Ind;1) * ZV(Eau;3) * AV(Vig+Pra;1) * NV(Pav+ban;8;0;30)$

*Au cours des 15 simulations effectuées, la part des transitions observées due à R 19 varie de 0.8% à 2%*

### Développement des principaux pôles urbains

**Extension du pavillonnaire aux dépens du rural dense. Elle concerne les plus gros pôles car il faut au minimum cinq cellules centre urbain dans un rayon de 4,5km.**

#### Règle 14

*Le rural dense peut devenir lotissement, s'il n'y pas de pôle rural trop près, s'il existe déjà du pavillonnaire à proximité et que la surface du pavillonnaire n'excède pas 9km<sup>2</sup> dans un rayon de 10km. Il faut également être à moins de 4.5km des marges d'une agglomération et 6km du centre urbain, La banlieue ne doit pas représenter plus de la moitié du voisinage proche de la future cellule pavillonnaire. L'absence de*

## PHASE 2 : RETRO-SIMULATION

*prairie, de vignes, de pentes et surtout d'industrie est nécessaire tout comme une distance minimal de 900m à la Durance.*

$Rud > Pav = NV(Pav+ban;10;0;30) * EV(Pav;1) * AV(Pen;1) * AV(Vig+Pra;1) * ZV(Eau;3) * ZV(Ind;1) * NV(ban;1;0;4) * PV(CU;20) * ZV(pru;4) * NV(CU+Ban;15;5;100)$

*Au cours des 15 simulations effectuées, la part des transitions observées due à R 14 varie de 1.2% à 10%*

**Extension du pavillonnaire aux dépens cette fois ci du rural peu dense. Elle concerne les plus gros pôles car il faut au minimum 25 cellules centre urbain dans un rayon de 6km (pour cibler les plus gros centres urbains de la zone, notamment Aix).**

### Règle 20

*Le rural peu dense peut devenir pavillonnaire, si dans un rayon large, on dénombre beaucoup de cellules de type centre urbain, s'il existe du pavillonnaire à proximité immédiate, sans que ce dernier n'ait une emprise spatiale trop importante.*

$RPD > PAV = NV(CU;20;25;100) * EV(pav;1) * nv(pav;5;1;15)$

*Au cours des 15 simulations effectuées, la part des transitions observées due à R 20 varie de 2,1% à 4.1%*

### Règle 15

*Le rural peu dense peut devenir lotissement sous condition d'une absence de pente, de vigne, de prairie, d'industrie et de la Durance dans le proche voisinage ; La proportion d'espace urbanisé hors lotissement dans le voisinage proche doit déjà être assez importante sans compter le pavillonnaire qui n'y est pas encore développé. La surface couverte par l'agglomération dans un rayon de 2.4km ne doit pas être supérieure à 9km<sup>2</sup>. Cette règle concerne 4000 cellules prises à chaque pas de temps de manière aléatoire. En fonction des forces en présence, la transition se fait ou ne se fait pas.*

$Rpd > Pav = AV(Pen;1) * AV(Vig+Pra;1) * ZV(Eau;3) * PV(CU+Ban+Rud;2;0,4;1) * ZV(Pav;5) * ZV(Ind;1) * AL(4000) * NV(Pav+ban;8;0;30)$

*Au cours des 15 simulations effectuées, la part des transitions observées due à R 15 varie 0.4% à 2.1%*

**Extension de la banlieue.**

### Règles 26 et 27

*Le rural peu dense et le rural dense peuvent devenir banlieue, si on n'est pas trop loin d'un centre-ville, s'il existe de la banlieue ou des grands ensembles dans le voisinage immédiat mais que cette banlieue ne couvre pas tout l'espace dans un voisinage plus large. De plus la cellule ne doit pas être de la forêt.*

$Rud > Ban = NV(CU;7;10;50) * EV(ban+GE;1) * EV(rte;1) * ZV(Fo;1) * NV(ban;4;10;25)$   
 $rpD > Ban = NV(CU;7;10;50) * EV(ban+GE;1) * EV(rte;1) * ZV(Fo;1) * NV(ban;4;10;25)$

*Au cours des 15 simulations effectuées, la part des transitions observées due à R 26 varie de 1% à 1.4%*

*Au cours des 15 simulations effectuées, la part des transitions observées due à R 27 varie de 0.2% à 1.6%*

## PHASE 2 : RETRO-SIMULATION

**Extension du pavillonnaire aux dépens du rural dense. Règle qui exige une banlieue de taille notable.**

### Règle 3

*A partir de 1975, Le rural dense peut devenir du pavillonnaire, si la banlieue est relativement présente dans un rayon de 2.1km.*

$Rud > pav = Nv(ban; 7; 20; 100) * a1(100) * EP(1975; 100)$

*Au cours des 15 simulations effectuées, la part des transitions observées due à R 3 varie de 0% à 1.1%*

### Règle d'extension des centres urbains

#### Règle 21

Cette règle est destinée à favoriser l'extension des centres urbains. Elle est particulièrement contraignante ; trop au final puisqu'elle n'a fonctionné que dans une simulation sur les quinze réalisées.

$Ban > CU = NV(CU; 1; 4; 8) * ZV(Ind; 1) * AV(Pen; 1) * AV(Vig+Pra; 1) * ZV(Eau; 3)$

*Au cours des 15 simulations effectuées, la part des transitions observées due à R 21 varie de 0% à 0.5%*

### Développement autour des petits et moyens centres urbains

Les petits centres urbains sont définis par un petit nombre de cellules de type centre urbain : cinq cellules maximum.

**Extension des cellules rural dense autour des petits centres urbains.**

#### Règle 6

*Rarement, des cellules de rural peu dense peuvent devenir du rural dense s'il existe un petit centre urbain dans un rayon de 4.5km, qu'une route principale se situe à moins de 900m de la cellule, s'il n'y a pas d'industrie ni la Durance à proximité et si la densité de rural dense est faible.*

$Rpd > RUD = EV(rte; 3) * NV(CU; 15; 2; 4) * ZV(Eau; 3) * ZV(Ind; 1) * nV(rud; 5; 0; 2) * AL(50) * nV(rud; 5; 0; 2)$

*Au cours des 15 simulations effectuées, la part des transitions observées due à R 6 varie de 0.5% à 1.3%*

#### Règle 7

*Rarement, des cellules de rural peu dense peuvent devenir du rural dense si on trouve à tout près une autre cellule rural dense, s'il existe un petit centre urbain dans un rayon de 4.5km, qu'une route principale se situe à moins de 900m de la cellule, s'il n'y a pas d'industrie ni la Durance à proximité et si la densité de rural dense dans un rayon de 1,5km reste très faible.*

# PHASE 2 : RETRO-SIMULATION

$Rpd > RUD = EV(rte; 3) * NV(CU; 15; 2; 4) * ZV(Eau; 3) * ZV(Ind; 1) * EV(rud; 1) * nV(rud; 5; 0; 2) * AL(50)$

*Au cours des 15 simulations effectuées, la part des transitions observées due à R 7 varie de 0% à 0.1%*

## Extension de la banlieue

### Règle 23, 24, 25

*Ces trois règles sont identiques mais elles reflètent différentes transitions au profit de l'état banlieue. Ces dernières se font en fonction de la proportion d'espace urbanisé dans un rayon de 600m et de l'existence de cellules centre urbain au sein de ce même rayon. Le centre urbain doit être inférieur à 2,7 km<sup>2</sup>, ce qui exclut uniquement le pôle aixois.*

$Rpd > Ban = PV(CU; 2) * PV(Pav + GE + ban + CU + PRu + Rud; 2) * NV(Cu; 5; 1; 5) * AP(Pav + GE + ban + CU + PRu + Rud; 2)$   
 $Rud > Ban = PV(CU; 2) * PV(Pav + GE + ban + CU + PRu + Rud; 2) * NV(Cu; 5; 1; 5) * AP(Pav + GE + ban + CU + PRu + Rud; 2)$   
 $pav > Ban = PV(CU; 2) * PV(Pav + GE + ban + CU + PRu + Rud; 2) * NV(Cu; 5; 1; 5) * AP(Pav + GE + ban + CU + PRu + Rud; 2)$

*Au cours des 15 simulations effectuées, la part des transitions observées due à R 23 varie de 2,4% à 3.7%*

*Au cours des 15 simulations effectuées, la part des transitions observées due à R 24 varie de 1.4% à 5.6%*

*Au cours des 15 simulations effectuées, la part des transitions observées due à R 25 varie de 1.7% à 2.3%*

## Règles concernant les pôles urbains indépendamment de la taille de leur centre urbain

## Développement du pavillonnaire en remplacement du rural dense.

### Règle 16

*Le rural dense peut devenir lotissement sous condition d'une absence de pente, de vigne, de prairie, d'industrie et de la Durance dans le proche voisinage ; La proportion d'espace urbanisé hors lotissement dans le voisinage proche doit déjà être très importante sans compter le pavillonnaire qui n'y est pas encore développé. Cette règle concerne 4000 cellules prises à chaque pas de temps de manière aléatoire. En fonction des forces en présence, la transition se fait ou ne se fait pas.*

$Rud > Pav = PV(Rud + Pav + ban; 3; 0, 7; 1) * ZV(Pav; 5) * AV(Vig + Pra; 1) * ZV(eau; 3) * ZV(ind; 2) * AL(4000)$

*Au cours des 15 simulations effectuées, la part des transitions observées due à R 16 varie de 0,1% à 0,4%*

## Développement du pavillonnaire.

### Règle 2

*A partir de 1975, Le rural peu dense peut devenir du pavillonnaire, proportionnellement à l'importance de la banlieue dans un rayon de 1.8km, s'il existe déjà du pavillonnaire à proximité sans que les surfaces couvertes atteignent 4,5km dans un rayon de 2.7km, s'il n'y a pas d'industrie à proximité immédiate. La proximité du réseau routier (<900m) est nécessaire tout comme l'éloignement de la Durance (>900m)*

$rpdpav = EV(rte; 3) * ZV(Eau; 3) * ZV(Ind; 1) * EV(pav; 1) * ap(ban; 6) * Nv(pav; 9; 0; 15) * EP(1975; 100)$

*Au cours des 15 simulations effectuées, la part des transitions observées due à R 14 varie de 1.9% à 7.7%*

# PHASE 2 : RETRO-SIMULATION

## Développement spécifique autour de l'étang de Berre.

### Extension des cellules de banlieue autour de l'étang de Berre aux dépens du Rural dense, étalement de la banlieue sous une forme plus ou moins continue

#### Règle 5

*Dans un rayon de 10,5km autour de l'étang, le rural peu dense peut devenir de la banlieue, si le terrain n'est pas pentu, si les vignes et les prairies sont absentes à proximité immédiate tout comme l'industrie, s'il existe au moins deux cellules banlieue dans un rayon de 600m mais que la surface couverte par cette dernière reste inférieure à 6km<sup>2</sup>. Le développement de la banlieue doit rester cantonné dans un rayon de 1.5km autour du centre-ville et la cellule doit être à moins de 1,2km du réseau routier principal.*

$Rud > ban = ZV(Pen; 0) * AV(Vig + Pra; 1) * ZV(Eau; 3) * ZV(Ind; 1) * EV(Rte; 4) * ev(etg; 30) * nv(ban; 2; 3; 15) * nv(ban; 7; 1; 20) * ev(cu; 5)$

*Au cours des 15 simulations effectuées, la part des transitions observées due à R 5 varie de 0.7% à 2,4%*

### Extension des cellules de banlieue autour de l'étang de Berre aux dépens du Rural peu dense, étalement de la banlieue sous une forme plus ou moins continue

#### Règle 4

*Dans un rayon de 9km autour de l'étang, le rural peu dense peut devenir de la banlieue, si le terrain n'est pas pentu, si les vignes et les prairies sont absentes à proximité immédiate tout comme l'industrie. Il faut qu'il y ait déjà une présence notable de la banlieue dans un rayon relativement proche. Le développement doit rester cantonné dans un rayon de 1.5km autour du centre-ville et la cellule doit être à moins de 1,2km du réseau routier principal.*

$Rpd > ban = ZV(Pen; 0) * AV(Vig + Pra; 1) * ZV(Eau; 3) * ZV(Ind; 1) * EV(Rte; 4) * ev(etg; 30) * nv(ban; 2; 3; 15) * nv(ban; 7; 1; 20) * ev(cu; 5)$

*Au cours des 15 simulations effectuées, la part des transitions observées due à R 4 varie de 0.7% à 2,4%*

### Extension de l'industrie lourde autour de l'étang de Berre. Etalement des zones industrielles existantes, sous une forme continue.

#### Règle 32

*Le rural peu dense peut devenir de l'industrie, si on est relativement proche de l'étang (moins de 1500m), s'il existe une densité d'industrie entre 10 et 40% dans un rayon de 900m et s'il n'y a pas d'habitat, quelle que soit sa forme, dans un rayon proche (600m). L'absence de forêt et de pente est également requise.*

$Rpd > Ind = PV(Etg; 5) * PV(Ind; 3; 0, 1; 0, 4) * AV(Pru + CU + Ban + Pav; 2) * AV(Fo; 1) * ZV(pen; 2)$

# PHASE 2 : RETRO-SIMULATION

Au cours des 15 simulations effectuées, la part des transitions observées due à R 32 varie de 0,4 à 0,8%

## Extension des cellules pavillonnaires autour de l'étang de Berre. Etalement des secteurs pavillonnaires existants, sous une forme continue.

### Règle 1

A partir de 1975, dans un rayon de 10,5km autour de l'étang, le rural dense peut devenir du pavillonnaire, proportionnellement à l'importance de la banlieue dans un rayon de 1.8km, s'il n'y a pas d'industrie à proximité immédiate et s'il est situé à moins de 900m du réseau routier principal. Les cellules nouvelles doivent être contigües à des cellules pavillonnaires existantes. La règle peut être appliquée tant que la surface couverte dans un rayon de 2.7km reste inférieure à 4.5km<sup>2</sup>.

$R_{ud>pav} = EV(rte;3) * ZV(Eau;3) * ZV(Ind;1) * EV(pav;1) * ap(ban;6) * Nv(pav;9;0;15) * ev(etg;35) * EP(1975;100)$

Au cours des 15 simulations effectuées, la part des transitions observées due à R 1 varie de 0.3% à 2,1%

## Développement spécifique autour du CEA

### Développement du pavillonnaire dans l'aire d'influence du CEA aux dépens du rural peu dense.

#### Règle 8

Le rural peu dense peut devenir du pavillonnaire, si le centre-ville quelle que soit sa taille n'est pas trop éloigné (1.5km), s'il n'y a pas de pavillon dans un rayon de 1.5km, si on est dans l'aire d'influence du CEA, qu'il n'y a pas de vignes, de prairies ou d'industries. Un certain éloignement de la Durance est nécessaire (1.5km minimum)

$R_{pd>pav} = PV(CU;5) * ZV(PAv;5) * EV(CEA;0) * AV(Vig+Pra;1) * ZV(Eau;5) * ZV(Ind;1)$

Au cours des 15 simulations effectuées, la part des transitions observées due à R23 varie de 0,2% à 0,5%

#### Règle 9

Dans l'aire d'influence du CEA, le rural peu dense peut devenir du pavillonnaire, si le centre-urbain, quelle que soit sa taille, n'est pas trop éloigné (1.8km), s'il n'y a pas trop de pavillons dans un rayon de 600m, et que ces derniers restent relativement modérés dans un rayon de 3km, s'il n'y a pas de vigne, de prairie ou d'industrie. Un certain éloignement de la Durance contraint également l'urbanisation (1.5km minimum)

$R_{pd>pav} = EV(Cea;0) * nV(Pav;2;2;2) * NV(pav;10;1;15) * AV(Vig+Pra;1) * ZV(Eau;5) * ZV(Ind;1) * Ev(Cu;6)$

Au cours des 15 simulations effectuées, la part des transitions observées due à R 9 varie de 0.8% à 2.1%

# PHASE 2 : RETRO-SIMULATION

## Développement spécifique dans l'aire d'influence de Marseille

### Extension du rural dense dans l'aire d'influence de Marseille.

#### Règle 35

*Dans l'aire d'influence de Marseille, en fonction de l'importance des agglomérations environnantes, le rural peu dense peut devenir du rural dense, si les espaces résidentiels ne sont pas trop développés dans un rayon de 600m, s'il n'y a pas de vigne, de prairie ou d'industrie.*

$R_{pd} > R_{uD} = AP(CU+Ban+Pav;8) * AV(Pen;2) * AV(Vig+Pra;1) * ZV(Eau;3) * EV(Mar;2) * ZV(Ind;1) * PV(RuD+Ban+CU+PAV+GE;2;0,1;0,4)$

*Au cours des 15 simulations effectuées, la part des transitions observées due à R 35 varie de 1,4% à 2,5%*

## Développement autour des échangeurs

### Développement du rural dense autour des échangeurs aux dépens du rural peu dense.

#### Règle 11

*Le rural peu dense peut devenir dense, proportionnellement à l'importance des espaces urbanisés (Centre urbain, banlieue, pôle rural, Rural dense, pavillonnaire) s'il existe un échangeur à moins de deux kilomètres et que l'on se situe à une certaine distance de la Durance. La densité de rural dense et de pavillonnaire dans un rayon proche doit rester faible. Cette règle concerne 4000 cellules prises à chaque pas de temps de manière aléatoire. En fonction des forces en présence, la transition se fait ou ne se fait pas.*

$R_{pd} > R_{ud} = EV(Ech1;6) * AP(Rud+Ban+Pav+CU+Pru;6) * AL(4000) * ZV(Eau;3) * NV(Rud+pav;2;0;4)$

*Au cours des 15 simulations effectuées, la part des transitions observées due à R 11 varie de 2,2% à 5,5%*

## Développement de l'industrie dans des secteurs autres que l'étang de Berre

### Développement de l'industrie aux dépens du rural dans des secteurs autres que l'étang de Berre.

#### Règle 34

*Le rural dense peut devenir de l'industrie s'il existe déjà de l'industrie à proximité dans des proportions modérées, s'il n'y a pas l'étang de Berre dans un rayon de 3km ou la Durance dans un rayon de 600m. L'habitat ne doit pas être contigu à l'industrie. Cette règle touche deux mille cellules de façon aléatoire tous les ans. En fonction des forces en présence, elle s'applique ou pas.*

$R_{ud} > R_{Ind} = EV(Ind;1) * NV(Ind;6;1;6) * ZV(Etg;10) * ZV(CU+Ban+PRU+Pav;1) * AL(2000) * ZV(pen;2) * ZV(eau;2)$

# PHASE 2 : RETRO-SIMULATION

Au cours des 15 simulations effectuées, la part des transitions observées due à R 34 varie de 0.2%→0.6%

## Règles 31

**La même règle s'applique pour le rural peu dense mais il n'y a pas de contrainte de distance vis-à-vis de la Durance**

Rpd>Ind=EV(Ind;1)\*NV(Ind;6;1;6)\*ZV(Etg;10)\*ZV(CU+Ban+PRU+Pav;1)\*AL(2000)\*ZV(pen;2)

Au cours des 15 simulations effectuées, la part des transitions observées due à R 31 varie de 1.4% à 3.1%

## Evolution de la forêt

### Règles 36 et 37

*La forêt devient du rural dense règle s'applique pour le rural peu dense mais il n'y a pas de contrainte de distance vis-à-vis de la Durance*

Fo>Rud=AL(1000)\*ZV(Pen;0)\*EV(Echl;6)\*PV(Rud+Ban+Cu+Pru;2;0,3;1)\*EV(Mar;2)  
Fo>Rud=ZV(Pen;0)\*EV(Rte;1)\*PV(Rud+Ban+Cu+Pru+PAV+GE;20;0,2;1)\*PV(Fo;2;0,4;1)

Au cours des 15 simulations effectuées, la part des transitions observées due à R 36 varie de 0.6% à 0,8%

Au cours des 15 simulations effectuées, la part des transitions observées due à R 37 varie de 2.1% à 2.7%

## Règles de cohérence spatiale

**Ces règles sont destinées à faire en sorte qu'une cellule dans un état x entourée de cellules dans un état y prenne l'état x**

Rud>CU=NV(CU;1;3;8)  
rud>Pav=NV(BAn+CU+pru+Pav;1;4;8)  
rpd>Pav=NV(BAn+CU+pru+Pav;1;4;8)  
Pav>ban=NV(BAn+CU+pru;1;4;8)  
rud>ban=NV(BAn+CU+pru;1;4;8)  
rpd>ban=NV(BAn+CU+pru;1;4;8)  
Rpd > Ind = NV(ind;1;3;8)\*NV(Ind;6;1;10)\*ZV(Etg;10) \*ZV(CU+Ban+PRU+Pav;1)  
\*AL(2000)\*ZV(pen;2)\*ZV(eau;2)

## Règles de vie

Ce sont des règles qui indiquent le temps moyen de vie d'une cellule et son état à sa mort naturelle.

Rud>CU=NV(CU;1;3;8)  
Rud>Rud=DA(15;15)

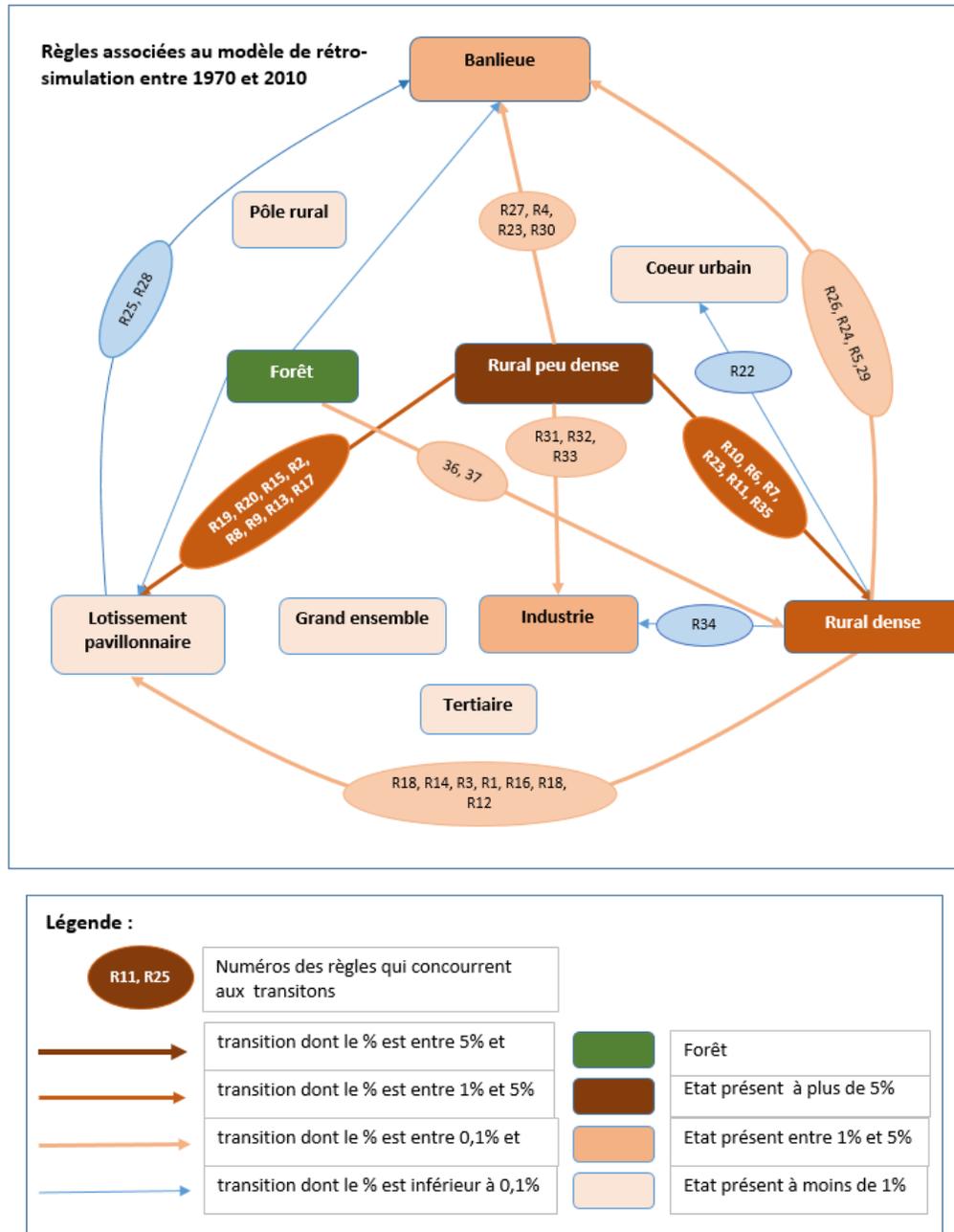
# PHASE 2 : RETRO-SIMULATION

Rpd>Rpd=DA ( 20 ; 20 )

Pav>pav=DA ( 30 ; 10 )

Les différentes règles présentées et les transitions sur lesquelles elles portent sont reportées dans la figure 28.

Figure 27 : Synthèse des règles de transition du modèle de rétro-simulation entre 1970 et 2010.



# PHASE 2 : RETRO-SIMULATION

## VALIDATION DE LA BASE DE REGLES

Le détail de la base de règles et les résultats de 10 simulations réalisées à partir de cette dernière sont présentés en annexe. Pour valider les résultats des simulations au regard de la réalité observée en 2010, trois méthodes de validation ont été employées:

**Validation méthodologique ou sémantique.** Elle consiste à comparer la qualité de la mise en relation sémantique entre les règles et la réalité observée. Cette validation peut se faire à travers des discussions avec des experts et des acteurs concernés.

**Validation statistique.** Elle comptabilise globalement les fréquences des différentes classes d'occupation du sol obtenues via la simulation et les compare avec la situation observée. C'est une validation a-spatiale où la localisation exacte de chaque état d'occupation du sol n'est pas considérée.

Avec cette validation, Nous constatons que le modèle simule assez correctement la transition, puisque les statistiques des transitions majeures simulées diffèrent peu de l'observation de 2010. Dans le modèle de rétrosimulation retenu, le choix a été fait de ne pas travailler sur les grands ensembles ni sur le développement des activités tertiaires (zones commerciales) dans la mesure où ils ont une emprise spatiale limitée en 2010. En effet, les grands ensembles occupent un peu plus de 4km<sup>2</sup> et les zones tertiaires (commerciales) un peu moins de 3km<sup>2</sup>. Pour les zones commerciales l'emprise spatiale des bâtiments étant souvent limitée, on peut affirmer que leur présence est sous-estimée sur la carte de 2010. Ces précisions expliquent pourquoi on observe des écarts à la réalité similaires dans toutes les simulations.

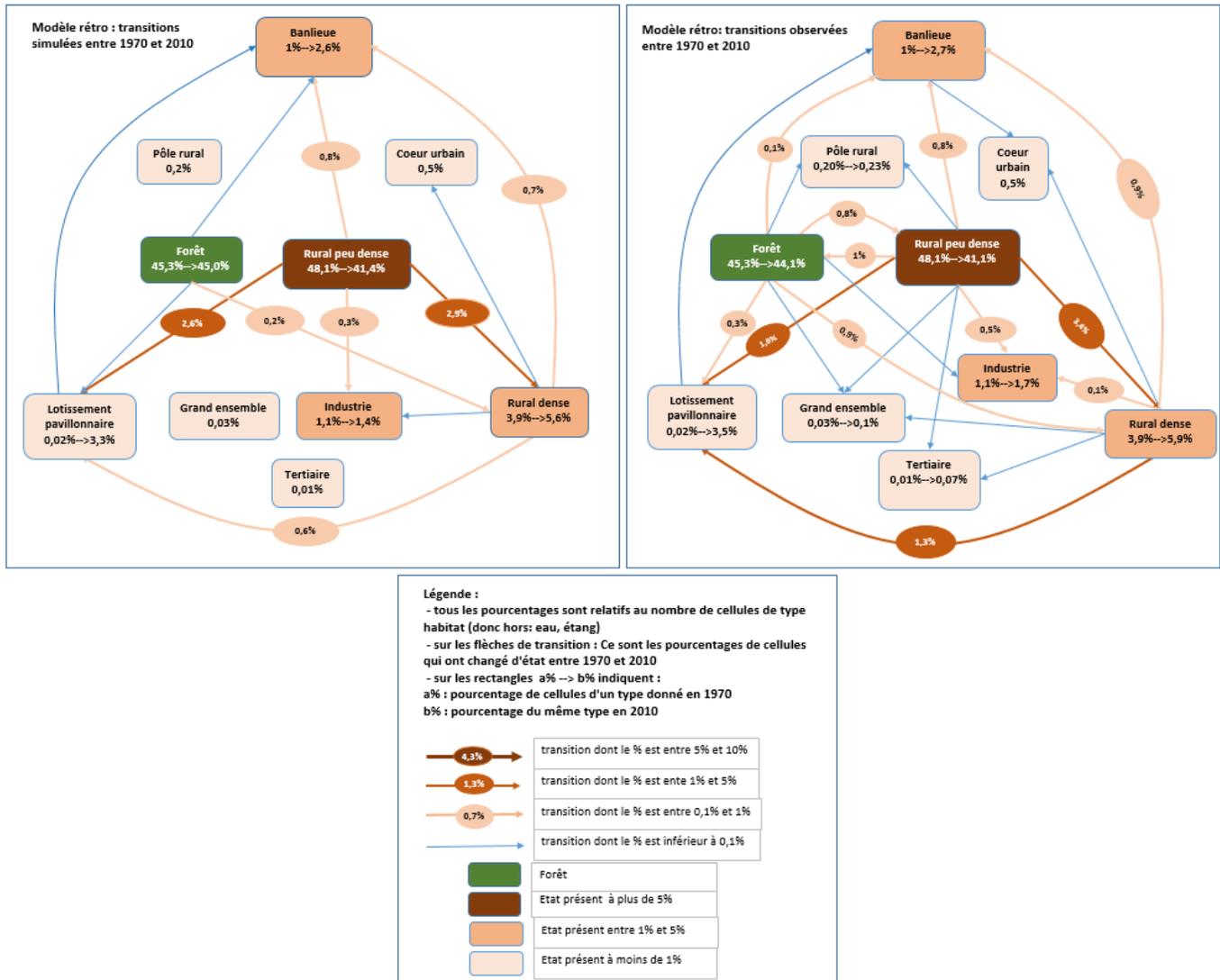
**Tableau 4 : comparaisons en km<sup>2</sup> des surfaces des différents états observés en 2010 par rapport à 10 simulations**

	2010	sim1	sim2	sim3	sim4	sim5	sim6	sim7	sim8	sim9	sim10
Rural peu dense	1606,1	1561,3	1584,6	1566,9	1560,4	1583,6	1619,7	1614,6	1618,2	1617,1	1580,5
Banlieue	106,2	107,6	105,8	106,4	105,0	105,6	99,5	99,0	98,1	99,8	106,1
Cœur urbain	21,4	18,8	18,8	18,7	18,8	18,8	18,9	18,8	18,8	18,9	18,8
Lotissements, pavillonnaire	138,4	143,8	140,5	140,9	143,3	109,6	126,4	129,5	129,1	123,1	111,0
Pôle rural	8,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9
Rural dense	230,6	254,0	231,2	251,4	256,5	265,6	218,7	219,4	217,1	222,3	265,7
Forêt	1720,8	1754,4	1757,1	1754,7	1754,4	1755,2	1757,1	1757,7	1758,1	1758,2	1755,2
Grands ensembles	4,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Industrie	57,7	48,6	50,6	49,5	50,1	50,2	48,2	49,5	49,2	49,1	51,3
Tertiaire	2,9	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Friche	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

La figure 29 compare l'une des dix simulations à la situation observée. La Durance et l'étang de Berre ont été exclus pour ne rapporter les effectifs de cellules qu'aux surfaces non statiques (soit 96,4% du domaine d'étude).

# PHASE 2 : RETRO-SIMULATION

Figure 28: Comparaison des statistiques de transitions entre les transitions observées et le modèle simulé (entre 1970 et 2010).



Tout d'abord, nous avons simplifié la réalité en ne définissant des règles que pour les transitions les plus importantes (il y a moins de flèches bleues dans le schéma de gauche, relatif à la simulation). On remarque ensuite que le poids des différents états est très proche à l'issue de la simulation au regard de la réalité. Les principales différences concernent le passage à l'état de lotissement pavillonnaire. La part des cellules initialement en rural peu dense qui passent en lotissement est légèrement plus élevée que la réalité. En revanche celle des cellules initialement en rural dense est moins élevée que la réalité, ce qui permet au final d'avoir une surface en lotissement pavillonnaire très proche de la réalité. Par ailleurs, l'industrie est légèrement sous-représentée.

Le tableau suivant montre les écarts relatifs entre le tableau des effectifs de transition simulées et celui des transitions observées. Si  $n_{ij}$  représente le nombre de cellules passées de l'état  $i$  en

## PHASE 2 : RETRO-SIMULATION

1970 à l'état  $j$  en 2010 sur le modèle de simulation et  $o_{ij}$ , le nombre correspondant dans le tableau observé, l'écart relatif est calculé par  $r_{ij} = (n_{ij} - o_{ij})/n$ ,  $n$  étant l'effectif total des cellules comptabilisées ( $n = 43\,386$ ). On constate que seule deux transitions dépassent 1% d'écart relatif, le « rural peu dense » et la « forêt » mais ce sont ceux qui portent sur des très gros effectifs (au-delà de 40% de l'effectif total)

Tableau 5 : écarts relatifs entre le simulé et l'observé en 2010

transitions observées entre 1970 et 2010 pour l'habitat	2010	rural peu dense	banlieue	coeur urbain	pavillonnaire	pole rural	rural dense	foret	grand ensemble	industrie	tertiaire
1970		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
rural peu dense	13	1,10%	0,00%	0,00%	0,65%	-0,01%	-0,49%	-0,98%	-0,04%	-0,19%	-0,03%
banlieue	14		0,05%	-0,05%						0,00%	
coeur urbain	15		0,00%	0,00%							
pavillonnaire	16		0,01%		-0,01%						
pole rural	17										
rural dense	18		-0,11%	-0,01%	-0,63%	0,00%	0,89%		-0,02%	-0,08%	-0,03%
foret	19	-0,81%	-0,09%		-0,28%	-0,01%	-0,69%	1,92%	-0,03%	-0,02%	
grand ensemble	20										
industrie	21		0,00%							0,00%	
tertiaire	22										
		0,29%	-0,15%	-0,06%	-0,27%	-0,03%	-0,29%	0,94%	-0,08%	-0,28%	-0,06%

**Validation locale.** Cette approche évalue les résultats des simulations en 2010 à partir d'une double comparaison avec la situation réellement observée en 2010 et avec la situation de départ (1970), ce qui atténue les effets d'inertie. La comparaison est spatiale, mais plutôt que de faire une comparaison stricte cellule à cellule, on préfère une méthode floue, en comparant une cellule de l'un à un voisinage correspondant dans l'autre. Nous utilisons la méthode du Fuzzy kappa disponible dans le logiciel Map Comparison Kit développé par le laboratoire RIKS .

**Fuzzy kappa** est un indice permettant la comparaison entre deux séries de cartes :

(a) : l'occupation du sol observée au départ (1970) et l'occupation observée à la fin (2010);

(b) : l'occupation du sol simulée et observée à la fin (2010).

Si (b) est plus grand que (a), on considère que la simulation reproduit mieux la réalité que la situation de départ, on valide alors la simulation.

On trouve 0,825 pour la valeur de (a). (avec un « average similarity » de 0,924). On a porté dans le tableau ci-dessous, les valeurs de (b) . Les valeurs étant systématiquement plus élevées en (b) qu'en (a), le modèle est validé.

## PHASE 2 : RETRO-SIMULATION

Tableau 6 : validation de la simulation par Fuzzy Kappa et Fuzzy Kappa Simulation

	sim1	sim2	sim3	sim4	sim5	sim6	sim7	sim8	sim9	sim10
<b>Fuzzy Kappa</b>	0,85	0,85	0,852	0,851	0,854	0,855	0,855	0,857	0,854	0,855
<b>Average similarity</b>	0,933	0,934	0,934	0,934	0,936	0,936	0,936	0,937	0,935	0,936

### CONCLUSION

La réalisation d'un modèle de rétro-simulation constitue une étape nécessaire pour vérifier si les logiques à l'origine de la dynamique d'un territoire ont bien été comprises et retracent correctement l'évolution passée qui a été observée. Il s'agit d'un exercice intéressant qui invite, selon la qualité des résultats, à confirmer les hypothèses de départ ou au contraire à les modifier. Ainsi, nous avons pu constater qu'il y avait eu un réel effet des politiques nationales sur le développement du secteur de l'étang de Berre et celui de Saint-Paul-lès-Durance. Sans règles spécifiques, les résultats des simulations affichent une urbanisation moins importante que la réalité. De même, la présence de vignes et de prairies constitue bien un frein en matière d'urbanisation. Ceci apparaît moins pour les autres types de cultures (oliveraie, maraichage, arboriculture). Par ailleurs, le réseau routier apparaît clairement comme un élément propice à l'étalement urbain : quasiment toutes les règles en matière de périurbanisation intègrent des éléments liés au réseau routier (routes principales, échangeurs autoroutiers). Enfin, nous constatons que les secteurs au sein desquels le phénomène de mitage est important en 2010 sont des secteurs au sein desquels le phénomène était déjà existant dans les années 1970 du fait des spécificités de l'agriculture.

L'objectif n'était pas seulement ici de parvenir à une reproduction aussi proche que possible de la dynamique passée mais aussi de bien comprendre les processus à l'œuvre dans cette dynamique. Les différentes validations effectuées montrent que le modèle retenu fonctionne plutôt bien pour décrire le territoire étudié.

### Phase 3 : Elaboration de scénarios possibles d'évolution du territoire

Une fois la validation du modèle de rétrosimulation effectuée, notre propos était de reprendre la base de règles utilisée pour la rétrosimulation et de l'adapter aux différents scénarios d'évolution du territoire à l'horizon 2050 élaborés dans le cadre du projet R2D2 (Sauquet et al.,2014), (voir annexe 5). Cette adaptation a pu prendre différentes formes :

- le remaniement de certaines règles de façon à réduire ou accroître les contraintes d'application de celles-ci (ainsi, les contraintes agricoles ont pu être retirées ou au contraire, fortement accrues),
- une modification de la taille des voisinages retenus, la tendance étant d'étendre ces voisinages dans la mesure où le territoire observé en 2010 est plus urbanisé qu'en 1970.
- la suppression de certaines règles qui ne conviennent plus pour certains scénarios,
- l'ajout de nouvelles règles de façon à intégrer les spécificités de différents scénarios très différents de la période passée.

Après avoir présenté les cinq scénarios qui ont été produits pour décrire l'évolution d'un territoire plus vaste que celui de notre zone d'étude, nous montrons comment ces derniers ont été interprétés en termes de contraintes, d'environnements spatiaux propices à la réalisation de chacun des processus qui caractérisent la croissance ou décroissance urbaine. Ceci étant réalisé, il a été alors possible de construire cinq bases de règles permettant de proposer des évolutions possibles de l'urbanisation au sein du territoire compris entre Manosque, Aix-en-Provence et Cavaillon à l'horizon 2050 en fonction des différents scénarios.

# PHASE 3 : ELABORATION DES SCENARIOS

## SCENARIO 1 : PROJECTION TENDANCIELLE

En 2050, le territoire PACA héberge 7,6 millions d'habitants, soit une augmentation de 1,16%/an (l'évolution constatée sur la période 1962-2010). Les habitants sont toujours très concentrés sur la partie littorale (75 %), le département du Var prioritairement, puis des Bouches du Rhône, des Alpes Maritimes et du Vaucluse étant de loin ceux qui accueillent le plus de migrants, les Hautes Alpes et Alpes de Hautes Provence arrivant loin derrière.

Les trois premiers départements bénéficient à la fois des zones productives et portuaires (Etang de Berre, Marseille, Toulon, Nice-Sophia Antipolis), et de dynamique touristique à influence nationale sur le littoral (De Cassis à Cannes en passant par Saint Tropez) que du « desserrement urbain des métropoles » (Vanier) provoquant un étalement urbain liés aux déplacements domicile – travail (arrière-pays littoral). Selon notre typologie<sup>5</sup>, le croissant littoral comptera en 2050 5,6 millions d'habitants (2,1 millions en 1962, 3,6 millions en 2010), soit 60 % de plus qu'aujourd'hui.

Le Vaucluse bénéficie toujours de la proximité de pôles productifs (Etang de Berre et Avignon) qui soutiennent les migrations pendulaires, et d'une attractivité touristique assurant le maintien des résidents secondaires d'Ile de France. La basse Durance dispose donc en 2050 de 68 % de population en plus soit 1,5 millions habitants (0,5 million en 1962- 0,9 million en 2010).

La moyenne Durance, dont le nouveau pôle Manosque-Cadarache est tiré par des projets tels qu'ITER ou l'OIR Val de Durance, attire 69 % de population en plus liées aux mobilités domicile-travail dans la vallée de la Durance et la dynamique toujours importante de la vallée du Verdon. Les dynamiques migratoires se caractérisent pour cette dernière par l'importance toujours plus grande de ses résidences secondaires et de l'attractivité touristique, estivale en moyenne vallée, et hivernale en tête de bassin, mobilisant toujours des déplacements pendulaires très locaux et saisonniers. Sa population, se porte en 2050 à 0,25 millions d'habitants (0,08 millions en 1962, 0,15 en 1970).

### Mode d'urbanisation et type d'habitat

La croissance démographique liée au desserrement urbain et à la croissance démographique est accueillie dans des zones faiblement urbanisées aujourd'hui (rurale) et densifient les grands espaces périphériques des grandes métropoles (Marseille-Aix en Provence, Toulon, Fréjus, Cannes Grasse), les pôles locaux importants (Avignon, Pertuis, Manosque et Gap) et les zones situées le long des grands axes de communication (vallée de la basse et moyenne Durance, axe Marseille Avignon,

---

<sup>5</sup> Quatre territoire hydro-sociologique : Le croissant littoral caractérisé par une origine de l'eau en partie issue de Durance Verdon et la concentration de population et d'activité socio-économique à l'échelle PACA ; La basse Durance, avec l'influence de la vallée du Rhône ; La moyenne Durance et le Verdon avec son organisation autour du fond de vallée et de la proximité des zones de travail, la Haute Durance peu peuplée, éloignée des centres d'activités voisins dépendante du tourisme lié à l'eau.

## PHASE 3 : ELABORATION DES SCENARIOS

Fréjus-Draguignan, etc.) permettant la viabilité d'un transport quotidien domicile-travail. Les maisons individuelles et les lotissements à faible densité couvrent la grande majorité de ces espaces. En parallèle les centres urbains et les banlieues se densifient quelque peu.

### Agriculture

Le premier constat est amer. Les superficies agricoles ont largement diminué ces dernières années, confirmant les tendances du passé. Nous sommes ainsi passés de quelques 70 000 ha au début des années 2000 à 60 000 ha aujourd'hui, consacrés majoritairement à la vigne, aux vergers et aux prairies.

L'urbanisation galopante est la principale coupable. Elle est toujours d'actualité, bien qu'elle se soit quelque peu réduite à la faveur de politiques du foncier plus maîtrisées.

L'ouverture des marchés ensuite : même si l'agriculture reste un secteur relativement protégé, avec des denrées périssables, et une ouverture à la concurrence limitée en raison de l'échec des négociations de l'OMC sur ce sujet, les années 2020 ont porté un coup dur avec la signature d'accords d'échanges Europe/Maroc créant un libre accès des produits marocains au marché européen.

La PAC enfin, le découplage des aides dans les années 2010 a marqué un tournant décisif. Le budget alloué aux aides agricoles s'est peu à peu amenuisé pour se concentrer sur des enjeux environnementaux et de sécurité alimentaire, parfois difficilement conciliable. Les va-et-vient décisionnels n'ont pas permis une réelle visibilité de la politique agricole commune. Nous pouvons cependant en retenir une incitation à produire des denrées stratégiques pour notre région, telles que le blé dur ou les fruits et légumes, tout en conservant des formes d'agriculture « environnementales », par le soutien aux surfaces fourragères ou les aides apportées à l'entretien des réseaux gravitaires dans la Crau et le Comtat.

## SCENARIO 2 : POUVOIR REGIONAL

### L'orientation politique régionale

Grace à ses atouts, la région PACA compte toujours parmi les « grandes régions européennes ». Pour ce faire, les décideurs locaux ont orienté l'action politique autour de **2 axes majeurs** : le 1er concerne la **maîtrise du foncier** afin de lutter contre une envolée des prix et in fine un frein croissant quant à l'attractivité sur la scène européenne et internationale. Le 2nd s'inscrit dans une démarche de **diversification de son économie** pour diminuer la dépendance aux facteurs exogènes induits par l'activité présente et ses emplois non délocalisables (revenus entrants, dynamiques économiques externes pour les bassins d'emplois). Ainsi, même si le littoral a perdu une partie de son aura du fait

## PHASE 3 : ELABORATION DES SCENARIOS

de sa saturation et d'un prix du foncier dissuasif, ces orientations, alliées à des réserves d'attractivité et de développement encore élevées, ont permis aux collectivités de dégager des moyens financiers suffisants pour mettre en œuvre leurs politiques.

### La démographie régionale

**La population** a continué de croître jusqu'en 2030, atteignant alors 5,5 millions d'habitants, principalement tractée par une politique d'immigration choisie ciblant les jeunes actifs et la main d'œuvre qualifiée et à un degré moindre par une reprise du taux de fertilité. A cette date, une maîtrise plus importante de la croissance démographique est décidée en mettant en place une politique d'immigration externe plus restrictive. En 2050, **la population atteint 5.8 millions d'habitants.**

Les **nouveaux arrivants** se répartissent principalement **sur les grands pôles urbains de l'espace littoral et de la basse vallée du Rhône**, ainsi que sur les moyens pôles de l'axe Durancien. Ces aires urbaines concentrent plus de 95% de la population régionale : à elles seules, les grandes agglomérations Marseille – Aix, Toulon, Nice et Avignon en accueillent près de 80%. Les territoires ruraux ne sont pas concernés par cette dynamique mais en reçoivent des effets plus inattendus : en effet, les tensions de toute nature (immobilier, sécurité, déplacements, ...) existant dans les grandes métropoles du littoral favorisent le maintien des populations autochtones ainsi que l'implantation de nouveaux arrivants notamment des jeunes actifs attirés par la campagne. Sans générer une dynamique démographique forte, ces nouveaux venus apportent de nouvelles capacités d'innovation et des dynamiques économiques nouvelles de développement local en impulsant la création de nouvelles activités et services au-delà des offres traditionnelles.

La dynamique urbaine est donc le principal vecteur de l'aménagement du territoire. Mais, sous l'effet de la politique régionale d'aménagement visant à contenir le phénomène d'étalement urbain – politique engagée de longue date notamment au service du potentiel agricole – la vague de périurbanisation connue dans les années 2000 n'est pas de mise face à cette croissance : des **actions de densification dans et en périphérie des métropoles** ont été lancées et les entreprises ont été incitées à réinvestir les centres villes. Les principaux pôles urbains se densifient donc très fortement et leur expansion horizontale vers la zone Cassis-Saint Raphaël est freinée. Dans la continuité littorale des zones urbaines, la zone Cassis-Saint Raphaël, consciente de sa **dépendance aux aménités paysagères et environnementales** met en place une régulation du foncier plus stricte sans pour autant moins accueillir. Ainsi l'habitat se densifie et un travail **d'aménagements paysagers est fortement travaillé** en milieu urbain pour proposer des zones de loisirs en espace « naturel » protégé.

Les **territoires ruraux du moyen pays** sont en majorité occupés par **l'agriculture qui demeure dominante**. Les terres agricoles y ont d'ailleurs peu à peu regagné du terrain et ces bassins de vie hébergent peu d'activités industrielles et d'innovation, hormis autour de Manosque où ITER attire de nombreuses entreprises de sous-traitance et de services.

## PHASE 3 : ELABORATION DES SCENARIOS

Dans l'arrière-pays, les territoires peu denses évoluent peu et se maintiennent grâce à aux activités et services liés au tourisme, même si une activité agricole extensive de type polyculture élevage est toujours présente.

### L'agriculture

L'agriculture, quant à elle, **répond essentiellement à la demande d'un marché interne régional ou européen** et plus rarement à celle de marchés plus globaux. Convaincus de l'importance de l'activité agricole et de son potentiel de développement, la région PACA, forte de ses compétences en matière d'occupation des sols, décide dès 2015, de mettre en place une **politique** concertée **pour maintenir et développer l'agriculture** régionale. Elle a donc élaboré un plan de pérennisation de l'agriculture dont les actions concourent à :

- améliorer l'efficacité des outils de **maitrise du foncier** avec notamment le regroupement de divers établissements comme l'EPFR et la SAFER, afin de stopper la consommation de terres agricoles du fait d'une extension urbaine non maîtrisée à étendre,
- préserver et moderniser les systèmes d'irrigation,
- à mettre en place des structures de conseils et d'appui technique pour aider à l'installation de jeunes agriculteurs, à l'élaboration de **projets de diversification** des activités agricoles ou de passage à des **productions en agriculture biologique** ou encore à la création de **labels de terroir**.

La politique régionale vise donc à conserver et pérenniser les différents systèmes d'exploitation au prix toutefois d'une **plus grande concentration et spécialisation territoriale**, soit essentiellement le **maintien** d'une agriculture fonctionnelle et compétitive sur les **productions traditionnelles** bénéficiant d'une image de marque positive (foin de Crau, blé dur méditerranéen, etc.) et d'une agriculture locale de qualité et de terroir (fruits, légumes, etc.) destinée aux marchés de consommation que constituent les grands pôles urbains.

En 2050, la configuration de l'agriculture régionale se présente ainsi :

Sur le **littoral** et le sillon **rhodanien**, le long de la **vallée de la Durance** et sur les plateaux bordiers de la **moyenne Durance** se maintient une **agriculture d'entreprise intensive et spécialisée**. Ces exploitations fortement intégrées dans les filières amont-aval, sont positionnées sur les marchés compétitifs régionaux et internationaux. Depuis la fin des aides à la production, les agriculteurs ont dû trouver des solutions pour préserver la rentabilité de leur exploitation. Pour faire face à la concurrence, ils se sont regroupés et ont acquis des compétences en matière de commerce, de gestion (mutualisation des coûts, partage d'outils de production, etc.) et de marketing. Ils s'appuient sur les nouvelles technologies (télédétection) et sur des outils d'information et de conseils pour aider aux prises de décision. Ils font appel à des prestataires de services afin de diminuer les coûts salariaux. Afin de maintenir des rendements élevés et une qualité régulière des produits, ces entrepreneurs font

## PHASE 3 : ELABORATION DES SCENARIOS

une utilisation importante d'intrants et ont de plus en plus **recours à l'irrigation, sur le modèle des systèmes californiens ou australiens.**

Dans ce contexte, les surfaces de culture à forte valeur ajoutée (Vigne et plus particulièrement vigne AOC, plantes à parfum, oliviers, horticulture...) et/ou bénéficiant d'une image positive au-delà la sphère régionale (foin de Crau, blé dur, Plantes à parfums aromatiques et médicinales, etc.) ont progressivement augmenté leur superficie irriguée grâce à leur meilleure qualité et au prix d'une meilleure gestion du travail, du sol, de la mécanisation et des intrants. Les surfaces en **oléagineux (colza, tournesol)** pour l'alimentation humaine et animale, mais aussi de plus en plus pour les filières de bio carburant ont également **augmenté**, compensant l'arrêt du gel de terres et la reconquête de friches urbaines et industrielles (+17% à l'horizon 2050).

Dans le **moyen pays, hors vallée de la Durance**, l'agriculture est essentiellement pilotée par les besoins et **demandes des grandes métropoles** du littoral et du sillon rhodanien. La production, majoritairement des fruits et des légumes, est tournée vers des **produits labélisés** (Bio, AOC) et de **terroirs** (indications géographiques). Les exploitations, de petite et moyenne taille, ont profité de **co-financements régionaux** pour diversifier leur production et leurs activités. Celles-ci sont pour la plupart encadrées par des contrats d'objectifs passés entre la région et l'exploitant

Dans l'**arrière-pays montagneux**, l'agriculture **extensive de type agro pastoral** s'accompagne d'une activité de services **liés au tourisme et à la préservation des espaces patrimoniaux**. Le maintien de l'agriculture dans ces espaces très peu denses constitue un levier pour le développement régional en complétant le potentiel urbain par des espaces naturels de qualité et diversifiés. Le rôle essentiel des services éco systémiques dans la sauvegarde des équilibres environnementaux et sociaux est désormais reconnu et les exploitants qui fournissent ces services sont rémunérés.

Au-delà de ces quelques éléments génériques, un tour d'horizon des différentes filières apporte un éclairage intéressant sur l'évolution de notre agriculture régionale.

Les productions de type maraîchage et vergers (surface de 2010) sont toujours confrontés à la concurrence des pays du Sud. Toutefois, les surfaces augmentent légèrement fin de répondre à la demande d'une population urbaine toujours plus importante qui favorise les productions plutôt locales de type AOC ou IGP. Les surfaces de pêcheurs continuent de progresser légèrement dans la Crau (+10% à l'horizon 2050) alors que les cultures de fruits exotiques se développent.

Devant concurrence étrangère, l'oléiculture régresse. Seules les productions AOC, vallée des Baux de Provence, Pays d'Aix et vergers Niçois, essentiellement destinés à la consommation de table, arrivent à se maintenir grâce à leur qualité reconnue. L'oléiculture reste une culture d'appoint destinée principalement à alimenter un marché de proximité (concentration sur les territoires AOC).

## PHASE 3 : ELABORATION DES SCENARIOS

L'arrivée sur le marché de vins en provenance des pays d'Amérique du Sud (Chili, Argentine...), met la vigne non AOC sous tension. Les vignes de vins de pays et de consommation courantes régressent. Ces surfaces sont délaissées au profit des productions horticoles (vergers, maraîchage ou plantes ornementales).

Les surfaces d'oléagineux (colza, tournesol) pour des utilisations alimentaires (huile alimentaire) mais aussi de plus en plus pour filière Diester ou la fabrication de cosmétique progressent significativement. Cette progression se fait à partir de la réutilisation des friches urbaines et industrielles et des jachères et à un degré moindre les STH. Hormis les cultures de blé dur qui progressent (+30% dans les 30 prochaines), les autres cultures céréalières (maïs) se maintiennent, voir diminuent légèrement.

Les surfaces fourragères se maintiennent dans les plaines du bas Rhône (Crau, Camargue) ainsi que dans les territoires de moyennes et hautes montagnes. Sur ces territoires, les productions sont utilisées localement pour l'élevage/pâturage et sont non irriguées. Sur les plateaux intermédiaires, les surfaces régressent significativement, -30% en 2050, au profit des surfaces de blé dur.

Sur la frange littorale, au nord de l'étang de Berre et dans le comtat (Carpentras et Chateaurenard), les surfaces horticoles se maintiennent.

Les surfaces de PAPAM (plantes à parfum, aromatiques et médicinales), essentiellement Lavandin et Lavande, cultivées sur les plateaux de Valensole, de Forcalquier et d'Albion, qui avaient fortement progressé au début des années 1990, se stabilisent dès 2020.

### SCENARIO 3 : INVESTISSEMENT - DIVERTISSEMENT

#### L'orientation politique régionale

La **priorité politique** est donnée au rayonnement et **au développement régional**, reléguant les questions environnementales au second plan (le littoral déjà fortement contraint faisant toutefois l'objet d'attentions particulières) : globalement, les **ressources naturelles sont perçues comme disponibles ou substituables**, leur utilisation n'étant pas considérée comme un obstacle potentiel au développement local. Tout en continuant à capitaliser sur la qualité de vie climatique et paysagère, les autorités locales marquent la volonté de **diversifier le principal moteur que constitue l'économie touristique**, de **relancer l'emploi industriel** et de **développer de nouvelles activités à forte valeur ajoutée**. C'est notamment le cas autour des technologies de l'énergie, avec notamment le support des pôles de compétitivité installés en région, que ce soit sur les modes de production ou de gestion

## PHASE 3 : ELABORATION DES SCENARIOS

de l'électricité. Parent pauvre de cette vision, **l'agriculture passe au 2<sup>nd</sup> plan** et ne constitue pas une priorité.

### La démographie régionale

Ces orientations ont permis l'installation d'une population active jeune et dynamique autour des bassins d'emploi, complétée par une frange plus âgée de seniors disposant de revenus confortables.

Le croissant littoral et le val de Durance en sont les grands bénéficiaires en termes démographiques : la croissance a été très forte sur les 40 dernières années et désormais **8,2 millions d'habitants habitent dans le territoire Durance-Verdon**. Mais la faible disponibilité foncière autour des zones productives (agglomérations, grands pôles industriels et de services) induit une **densification des pôles urbains** et, par là-même, une **hausse du foncier** : cela profite aux territoires un peu plus éloignés mais accessibles grâce aux **infrastructures de transport**, notamment développées pour faciliter les **déplacements pendulaires**.

Le **renforcement des pôles productifs** (étang de Berre, le couloir Rhodanien, la basse et la moyenne Durance) a favorisé le développement de l'arrière-pays littoral et de la vallée de la Durance **jusque Gap**, avec une politique de développement économique accompagnant l'installation de **grandes entreprises** industrielles et de pôles de développement technologiques. Ces territoires ont fait l'objet d'une **demande forte en habitation individuelle** des jeunes actifs : cela a induit des transformations significatives avec **un mitage important** du fait d'une absence de maîtrise l'étalement urbain, complété par la multiplication des résidences secondaires (de faible et moyenne qualité).

Le **littoral** (entre Marseille et Nice) est confronté à une problématique différente, lié à sa forte dépendance envers l'activité touristique : en effet, l'augmentation de la température et la densité urbaine rendent le développement touristique traditionnel trop risqué et anti-concurrentiel. Les décideurs ont donc lancé une vaste **opération de diversification et de renouvellement de l'offre touristique**, tournée de plus en plus au-delà du seul intérêt paysager et climatique de la région. La population a encore changé : l'attractivité nouvelle joue en direction d'une **clientèle touristique et professionnelle aisée**, de plus en plus internationale, ainsi que propriétaires aisés de résidences secondaires. Pour les catégories sociales les moins aisées, habiter sur le littoral est devenu très difficile.

Bien qu'éloignés géographiquement de ces dynamiques économiques, le **Verdon et la Haute Durance** n'en sont pas complètement déconnectés. En effet, ils bénéficient de la contraction paysagère dans la partie arrière-pays littoral et moyenne Durance et d'infrastructures qui les désenclavent des zones d'activités. D'une certaine façon, ils sont les « **dernières** » **zones « naturelles »**, ce qui permet des **investissements touristiques de standing** grâce à cet environnement préservé.

# PHASE 3 : ELABORATION DES SCENARIOS

## L'agriculture

Dans ce scénario, **l'agriculture est loin d'être une priorité régionale** relativement à la ré-industrialisation et au développement des activités de services. Comme **l'étalement urbain non contrôlé** se poursuit en l'absence de contrainte énergétique forte et dans un contexte de politiques environnementales faibles, les soutiens restant pour sauvegarder cette activité viennent seulement d'initiatives locales. En général, les mesures consistent à proposer des aides pour la structuration des filières, à favoriser les débouchés des produits bio et locaux vers la restauration collective (cantines scolaires et municipales, hôpitaux, etc.), plus rarement apporter un soutien aux investissements des exploitants qui désirent diversifier leurs activités ou à la reprise d'exploitation par de jeunes agriculteurs.

Dans la **zone littorale, le sillon rhodanien et la vallée de la basse Durance**, les espaces ruraux sont toujours soumis à l'influence des métropoles qui intègrent progressivement les communes périphériques. Des superficies entières de **terres agricoles** pour la plupart **irrigables sont transformées** en lotissements, zones commerciales et industrielles, parcs de loisirs et plateformes logistiques le long des infrastructures routières. Même si l'on constate un fort ralentissement de la consommation d'espaces agricoles depuis la fin des années 2010, cette périurbanisation non maîtrisée conduit à une **fragmentation** importante **des espaces agricoles** et naturels de plus en plus éloignés des centres villes où l'agriculture peine à se maintenir. Le **prix du foncier agricole continue de croître** et pénalise de plus en plus l'installation de jeunes agriculteurs. De plus, la logique de **spéculation foncière** favorise le développement de **friches d'attentes de valorisation foncière**. Les conflits d'usages et de voisinage liés aux bruits, aux odeurs et au traitement des cultures se multiplient et entraînent des difficultés d'exploitation et d'évolution de l'activité qui ne favorisent pas la transmission des exploitations.

La politique réglementaire et les interventions foncières mises en œuvre par la région et les collectivités locales ne permettent pas d'enrayer le processus d'urbanisation qui, avec l'arrivée de 1,5 millions d'habitants supplémentaires à l'horizon 2050, est loin de s'infléchir. Le maintien de l'agriculture notamment dans les espaces proches des agglomérations centrales du littoral et du moyen pays, est très précaire et sous la menace constante de marchés fonciers très concurrentiels. La plupart des exploitations périssent et disparaissent dès lors que la densité des bâtis et des infrastructures de transport devient un frein trop important pour l'exercice des activités.

La SAU a diminué de 30% entre 2010 et 2050, et cette diminution touche de façon plus ou moins uniforme l'ensemble des cultures. Ainsi, les superficies en maraîchage sont passées de 9 000 à 6 000 ha (soit -34%) et les superficies en vergers de 21 000 à 15 000 ha (-29%). Les circuits de grande distribution, qui permettent de sécuriser au maximum les conditions d'hygiène et d'écouler les produits de façon économiquement avantageuse, continuent à dominer le marché alimentaire, à imposer ses conditions aux exploitants agricoles et à privilégier des produits venant d'autres régions européennes lorsque les coûts y sont plus faibles

## PHASE 3 : ELABORATION DES SCENARIOS

*A contrario*, les **espaces naturels résistent mieux à la périurbanisation** du fait de leur caractère récréatif.

Dans les **zones éloignées des aires urbaines** et moins soumises aux enjeux fonciers, quelques **grandes exploitations régionales continuent de produire à des prix compétitifs**. Mais, face aux grandes exploitations des régions voisines ou européennes, au potentiel agronomique supérieur, seules les **cultures** présentant des **caractéristiques et spécificités intéressantes** à l'échelle régionale (filières à forte valeur ajoutée et image positive à l'externe, productions leadership..) ont pu résister. Ces exploitations sont intégrées dans des filières agroindustrielles de taille nationale ou européenne ou des filières de production AOC pour les circuits de grande distribution. Elles doivent faire face à une double contrainte : d'une part, arrêter ou réduire drastiquement l'usage des phytosanitaires, et, d'autre part, assurer un volume de production de « qualité industrielle » (traçabilité et maîtrise des process) dans le cadre de contrat d'approvisionnement les liant aux industries de transformation et aux circuits de grande distribution. Pour être viable économiquement et techniquement, ces agriculteurs - entrepreneur se sont regroupés et ont modifiés leurs pratiques culturelles. Ils font désormais appel aux nouveaux outils d'aide à la décision et aux dernières technologies et gèrent leur activité dans le cadre de procédures pré établies.

A l'horizon 2050, seules les productions stratégiques pour la région, cultures de céréales emblématiques (riz et blé dur) et celles des plateaux intermédiaires (Valensole, Forcalquier notamment) avec les PAPAM qui bénéficient d'un label AOC depuis 1981 et sont protégés (AOP) depuis 2012 ont pu se maintenir. Certaines cultures céréalières dont certaines n'étaient que très peu cultivées dans les années 2000, riz, orge, froment (blé tendre), avoine, progressent du fait de l'engouement pour les aliments à base de céréales complètes reconnus comme facteur de santé et de bien-être. Les cultures d'oléagineux persistent, à la faveur d'une méfiance généralisée envers l'huile de palme. De plus, en l'absence de véritables contraintes sur l'énergie, la demande en biocarburants est faible, ceux-ci venant surtout en complément des énergies fossiles. La production de viande diminue peu à peu, les prairies et superficies toujours en herbe sont donc progressivement mangées par l'urbanisation ou remplacées par des productions essentiellement arboricoles.

### SCENARIO 4 : CRISE DURABLE

#### L'orientation politique régionale

**PACA**, région de production et d'exportation diversifiée mais peu importante avec une économie présente tributaire du niveau de richesse de territoires extérieurs ou plus large (Tourisme supra-régional, mécanisme des retraites, investissement « recherche », etc.), a vu son **attractivité décliner**. Les secteurs d'emplois traditionnels (aéronautique, chimie...) de la région se maintiennent difficilement face à la concurrence imposée par les ex pays émergents. Mais, la délocalisation des

## PHASE 3 : ELABORATION DES SCENARIOS

activités manufacturières poursuivie dans les années 2000 – 2015 a donné un coup d'arrêt au développement des activités de services aux entreprises, d'informatique, de recherche et développement, et de conception sur lesquelles la région avaient misé. Ainsi, les secteurs les plus technologiques et les plus informatisés ont suivi les mouvements de délocalisation des outils de production même si des îlots d'innovation et de recherche subsistent dans quelques bassins (Nice-Valbonne, Aix-Marseille, Avignon...) grâce à des subventions et soutiens des collectivités locales.

Pour la région PACA, cette **crise est donc un coup d'arrêt**, à l'instar de toute la « sun belt méditerranéenne ». L'ensemble des activités de services, de recherche et industrielle s'est nettement contracté. **La dynamique publique est rompue**, avec une position politique plus orientée sur la gestion que sur le développement et l'ouverture. Face à ce manque d'initiative, la défense d'intérêts privés prend souvent le dessus. **Le moteur « touristique » est en panne**, largement contraint **par le coût des déplacements**. Cette conjoncture économique difficile génère une **baisse de la demande globale en énergie**, la sobriété et l'efficacité énergétique étant prioritairement recherchées. L'électricité n'est pas épargnée et, globalement, son usage diminue.

### La démographie régionale

Pour le territoire Durance-Verdon (et la région PACA), les conséquences de cette crise durable sont fortes : en effet, l'économie étant fortement basée sur une activité présentielle, l'évolution de la population est rentrée dans un cercle vicieux : activité économique en baisse, dynamique démographique en berne, activité d'autant plus touchée, etc. L'attractivité du territoire a fortement baissé depuis 2010 et s'est traduit par des **soldes migratoires négatifs pour les jeunes actifs** à partir de 2020, puis pour toutes les classes d'âge ensuite, notamment les retraités qui ne bénéficient plus des mêmes niveaux de retraite pour soutenir les résidence alternée, voir l'installation dans la région. Le solde naturel ne parvient plus à assurer le renouvellement des générations (suppression des aides familiales, baisse du pouvoir d'achat, manque de visibilité sur l'avenir). En termes démographiques, l'évolution s'est inversée pour finalement être désormais négative : désormais **en 2050**, ce ne sont plus que **4.5 millions d'habitants** qui peuplent le système Durance-Verdon.

Du fait des mécanismes d'attractivité corrélée entre résidentiel et économie, ce sont **les territoires en périphérie des zones productives** qui sont **touchés** rapidement, notamment ceux dont l'éloignement est le plus important. Ils souffrent d'une double contrainte : accès aux emplois intrinsèquement difficile et coût du déplacement pendulaire qui augmente à mesure que la population se paupérise et que les coûts de déplacement augmentent. Cela concerne donc particulièrement l'arrière-pays littoral, les périphéries de villes, la basse et moyenne Durance.

**Le littoral** ne bénéficie plus de la dynamique touristique de masse et on assiste à un **vieilissement de la population**, porté par les seniors les plus aisés qui peuvent continuer à y vivre. La Haute-Durance et le Verdon subissent de plein fouet le repli régional, notamment du tourisme : malgré

## PHASE 3 : ELABORATION DES SCENARIOS

des qualités environnementales préservées, les coûts d'accès et l'absence d'investissements pèsent fortement sur l'attractivité.

### L'agriculture

#### La filière agro-alimentaire.

Dans un contexte économique déprimé et de crise énergétique, **chaque territoire recherche l'autosuffisance alimentaire. Le marché des produits alimentaires est restreint.** La demande en produits carnés ou laitiers a diminué du fait qu'elle est plus élastique par rapport aux revenus. Globalement, la **demande** alimentaire est devenue raisonnée et s'est **reportée sur les produits de base et peu transformés.** Le prix devient l'élément prépondérant du choix. Face à ces contraintes, la majorité des exploitants qui était dans les années 2010 sur une dynamique de spécialisation et une approche par filière-produits, ont modifié leur stratégie et opté pour un **retour à des productions moins spécialisées et orientées vers la demande des marchés locaux et régionaux.**

#### Politiques agricoles

La quasi **disparition des aides à la production** remplacées en partie par des **soutiens de la part des collectivités locales,** une **demande plutôt atone** en fruits et légumes frais et en produits laitiers et carnés, le **renchérissement des intrants** (engrais, nitrate...), **l'augmentation des coûts** d'accès aux technologies, en particulier aux nouvelles variétés végétales, à l'énergie et à l'eau, **ont mis à mal l'agriculture régionale** dont la production, en valeur, était majoritairement intensive et fortement péri urbaine.

#### Formes d'exploitations

Plus encore que dans le scénario écologique, les exploitants agricoles ont dû **rechercher une autonomie énergétique** afin de réduire les charges opérationnelles. Ce contexte a entraîné d'une part, une **baisse de productivité** des principales cultures intensives de la région (**diminution du rendement de 20%**), et d'autre part une **diminution des surfaces cultivées.** Elle est de l'ordre de **50%, mais reste un peu moins marquée aux alentours des grandes agglomérations.** Afin d'améliorer leur compétitivité et accéder aux marchés d'approvisionnement et de vente, de nombreux exploitants sont regroupés en **groupements de producteurs et association.** Du fait de la perte d'attractivité régionale, la demande globale en produits alimentaires reste à un niveau relativement peu élevé même si la diminution des importations en provenance des régions proches a permis d'atténuer la tendance.

En parallèle des exploitations professionnelles, une **agriculture de semi-subsistance et de subsistance,** s'est développé dans les zones périurbaines et autour des villes de la zone littorale, l'arrière-pays et les espaces montagneux. L'activité, très diversifiée, tourne autour de la production de pommes de terre, légumes et de fruit (y compris l'olive) sur les zones littorales et du sillon rhodanien

## PHASE 3 : ELABORATION DES SCENARIOS

et dans la vallée de la Durance, aux alentours des grandes agglomérations. L'activité culturelle est parfois associée à une activité d'élevage herbivore sur les espaces restés libres de toute agriculture des zones montagneuses et des plaines du Bas-Rhône (Crau et Camargue).

Ces petites structures agricoles familiales, faiblement intégrées au marché, sont très peu mécanisées et font rarement appel à de la main d'œuvre. Elles satisfont en priorité leurs propres besoins alimentaires et commercialisent une partie de la production directement aux consommateurs plus rarement à des distributeurs de proximité. Ces ventes constituent un complément important aux revenus des ménages. Les productions sont adaptées aux caractéristiques pédoclimatiques locales et nécessitent peu d'intrants et l'irrigation sert prioritaire sur les cultures maraîchères. Cette forme d'agriculture est une source d'approvisionnement en produits frais pour les communautés rurales isolées et permet le maintien de populations dans les zones rurales les plus fragiles et les plus désavantagées. Elle constitue aussi un rempart contre la pauvreté, en périphérie des grands centres urbains. La pluriactivité, qui associe travail à la ferme et travail hors exploitation, est l'une des principales caractéristiques de ce type d'exploitation. En l'absence de soutiens suffisants, les revenus générés hors de l'exploitation sont souvent investis dans la ferme, permettant ainsi d'assurer la survie de la plupart d'entre elles.

Certaines exploitations de taille supérieure aux précédentes sont gérées par des exploitants à plein temps et font appel à des travailleurs saisonniers. Ces exploitants sont dans une logique de production et tirent leur principal revenu de l'agriculture. L'essentiel de la production est commercialisé en frais en vente directe aux consommateurs et par l'intermédiaire d'épiceries et/ou de coopératives locales. Les cultures restent fortement extensives, utilisent peu d'intrants mais ont recours à l'irrigation quand cela est possible. Les rendements restent moyens. Cette agriculture de semi-subsistance offre des ressources de diversification et de croissance pour l'économie rurale non-agricole (production locale, chaînes d'approvisionnement courtes...). Elle constitue aussi de précieux atouts pour initier des projets ruraux différents, plus rentables, comme l'agrotourisme ou la production de spécialités locales et participe au maintien des espaces ruraux.

### **Cultures et itinéraires techniques**

Les **cultures maraîchères** ont été fortement touchées par l'augmentation des coûts de production. Sur l'ensemble de la région, ces superficies ont **diminué de 45%**, malgré un maintien relatif à proximité des agglomérations et métropoles régionales. La baisse est sensiblement la même pour les vergers (-50% entre 2010 et 2050). Le recul a été plus sensible pour les productions à coût élevé, cerisier, pêchers, Reine Claude. La **viticulture**, une des filières phares de la région et surtout un des premiers secteurs d'emploi agricole, **paie un lourd tribut au contexte économique**. Même si les coûts de transport ont atténué en partie la concurrence des vins du « nouveau monde », la **baisse de la demande** et l'évolution des modes de consommation ont entraîné une **baisse considérable de la production de raisins de cuve** quel que soit le type de vin. En 2050, le nombre d'**exploitations** spécialisées en viticultures et les superficies correspondantes **ont reculé** de façon importante (-60%,

## PHASE 3 : ELABORATION DES SCENARIOS

2050). **Globalement, les surfaces sont en baisse significatives et les rendements particulièrement faibles.** Le marché est essentiellement local et régional, hormis pour quelques appellations de grande notoriété (Bandol, Cassis, Châteauneuf du pape, Muscat de Beaugues-de-Venise) qui trouvent encore des débouchés sur le marché national et à l'exportation.

Coté grandes cultures, seules quelques grandes exploitations de taille supérieure à 50 ha et très spécialisées comme le foin de Crau et le blé dur dans leurs secteurs traditionnels de la Crau et de la Camargue, assurent une production à faible valeur ajoutée à destination des marchés externes ou de la grande distribution.

La plupart des autres exploitations ont misé sur une diversification de leur production en recherchant des complémentarités entre les cultures. La baisse de production et la diversification ne permettent que peu de débouché à l'export. En 2050, **les surfaces de grandes cultures ont diminué de 30%** (blé dur) à 50% (tournesol) Le déclin est donc particulièrement sensible pour les cultures exigeantes en eau (maïs et tournesol). La culture spécifique du riz en Camargue se maintient. Dans les basses vallées de la Durance et de ses affluents, les céréales, blé dur et tendre, orge et localement maïs ainsi que les protéagineux pois et luzerne, sont les principales cultures. L'orge, l'avoine, le seigle et le triticale se trouvent principalement dans les zones de montagne et de haute montagne. Sur les plateaux bordiers de la Durance, les céréales à paille et le colza dans les parties sèches et le blé dur dans les zones irriguées sont associés en rotation avec les protéagineux et les cultures de lavande – lavandin et autres plantes aromatiques. Toutefois les surfaces de PAPAM sont en net repli par rapport à la situation des autres productions. La pomme de terre est la seule culture dont la superficie irriguée a augmenté (+100% passant de 600 ha à plus de 1 300 ha). Elle est présente toute au long de la vallée de la Durance mais aussi disséminé dans les zones de montagne.

L'agriculture de montagne connaît une nette déprise. Entre 2010 et 2050, la moitié des exploitations alpines a disparu. La majorité des exploitations restantes sont de petites tailles et pour la plupart non professionnelles L'activité à dominante d'élevage herbager est fortement extensive.

Dans les plaines du bas Rhône (Crau et Camargue) et les massifs alpins, les cheptels de bovins et ovins ont diminué de moitié du fait de la moindre en produits laitiers et carnés. Toutefois, la pratique de la transhumance entre la plaine et la montagne perdure. Les troupeaux d'ovins pâturent de mars à juin dans la partie sèche de la plaine de Crau avant de monter dans les alpages durant l'été. Ils redescendent en automne vers la plaine de Crau pour pâture les regains des prairies. Globalement, les éleveurs ont été plus touchés que les cultivateurs par les ajustements de la demande et le prix élevés des produits d'origine animale comme la viande bovine, le beurre et le fromage.

Fait notable, la majorité des exploitants agricoles ont dû rechercher un complément de revenu en proposant des activités para agricole (tourisme rural, activités artisanales, travaux à destination des collectivités locales ou des particuliers (entretiens des jardins et paysages...) ou encore en se tournant vers la production d'énergie renouvelables pour des usages localisés et diversifiés. Toutefois cette activité dépend du potentiel et des dynamiques locales. La méthanisation des déchets et le

# PHASE 3 : ELABORATION DES SCENARIOS

**bois-énergie** sont fortement mobilisés, en revanche l'essor des biocarburants reste limité compte tenu des prix agricoles élevés.

## SCENARIO 5 : ECOLOGIE URBAINE ET TERRITORIALE

### L'orientation politique régionale

Fin 2020, la **dominante présentielle** « historique » de son économie, fondée sur la qualité de vie du territoire et sa capacité à attirer de la main d'œuvre très qualifiée tout autant que des touristes et des retraités **est mise en péril** depuis plusieurs années par la **dégradation du cadre de vie** engendrée par la **hausse des températures, du prix de l'énergie et des densités** en bord de mer. Le modèle socio-économique littoral, principal poumon jusqu'à présent, s'essouffle. Pour répondre à ces enjeux, les politiques territoriales et économiques ont investi le champ de **« l'ingénierie de l'écologie »** pour en faire une véritable expertise et pouvoir l'exporter.

Le territoire Durance-Verdon est une zone-atelier qui va permettre d'affiner et rendre concret ce concept de « croissance verte » à une échelle importante : sous l'impulsion de politiques publiques volontaristes, les secteurs des services, de l'innovation et du tourisme s'orientent donc stratégiquement vers le développement d'une **expertise « Amélioration du cadre de vie »**. La **lutte contre l'étalement urbain** est ainsi un enjeu de premier ordre pour les politiques locales et régionales de manière à sauvegarder les aménités paysagères de la région, socle de son dynamisme économique. Une **politique de densification** des centres urbains se met en place sur toute la zone d'étude, avec en parallèle la patrimonialisation d'espaces naturels en relation avec la demande de nature des touristes et des urbains, mais aussi l'utilisation de ces espaces à des fins agricoles (parcs agricoles par exemple).

En parallèle de cette politique foncière efficace, un intense investissement est porté sur **l'intégration de la nature et de ses services dans la ville**. La ville se verdit pour se rafraîchir, les flux liés aux ressources (eau, énergie, ...) sont repensés pour ne pas dépendre de zones de productions trop éloignée (Smart grid, EnR, MDE, REUT, Maitrise de la demande en eau, etc.) et les services rendus par les aménités patrimoniales sont mutualisées à l'échelle du territoire (paiement pour service).

### La démographie régionale

Malgré les évolutions climatiques parfois contraignantes, la région PACA continue à attirer des migrants, globalement au même rythme que sur la période 1970-2010. **En 2050, le territoire Durance-Verdon compte 7.6 millions d'habitants.**

## PHASE 3 : ELABORATION DES SCENARIOS

La spatialisation de la population est largement guidée par la prise de conscience écologique : aussi, les politiques orientent les **logiques de déplacement** vers les **courtes distances** pour minimiser l'empreinte énergétique et les impacts environnementaux. Les **pôles pré-existants** (Marseille, Avignon, Aix-en-Provence, mais aussi Gap, Digne, Sisteron, Manosque, etc.) **se densifient** au niveau des villes-centres, mais aussi de la couronne périphérique proche avec l'organisation de moyens de déplacements alternatifs efficaces entre la périphérie et le centre et entre les différents centres villes qui se font principalement en transport en commun, en co-voiturage ou à vélo. L'habitat individuel densifié (pavillons mitoyens, habitats mixte), l'habitat collectif de petite taille, les éco-quartiers se multiplient permettant aux habitants de bénéficier d'un cadre de vie favorable tout en empiétant relativement peu sur le foncier, par la densification des villes centre et des périphéries proches. Le coût énergétique et environnemental des déplacements limite l'usage des **résidences secondaires** : celles-ci **diminuent**, notamment dans les zones les plus éloignées, avec un véritable impact sur le prix du foncier.

**En milieu rural**, les espaces ont progressivement été partagés entre **l'agriculture d'une part et le tourisme et activités de loisirs** d'autre part. Parallèlement, des **parcs agricoles péri-urbains** (ceinture verte) se sont développés afin de servir la demande de proximité.

Globalement, les efforts de **gestion du foncier**, et notamment les contraintes à certains endroits (**croissant littoral, basse Durance** notamment), **limitent les arrivées sur ces zones précises**. La répartition de population sur les différents espaces du territoire Durance-Verdon n'a pas radicalement évolué, mais on constate **un léger désengorgement du croissant littoral au profil du territoire amont** (« bascule » de l'ordre de 10 points, le croissant littoral ne représente « plus » que 70% en termes de répartition).

La croissance économique est en progression, soutenue par l'économie verte, l'économie touristique et la redistribution publique et dans une moindre mesure l'économie industrielle.

### L'agriculture

#### **La filière agro-alimentaire**

Autre pan de l'économie régionale, le domaine **agro-alimentaire** est également **très structuré par l'orientation « croissance verte »** des décideurs, du fait des liens étroits entre agriculture, territoires et environnement.

Les filières, qui étaient spécialisées pour répondre aux marchés internationaux, ont revu leur outil de production afin de répondre à des **demandes plus régionales**. Elles se sont restructurées et ont réinvesti le marché des produits alimentaires régionaux (marques « historiques »). Elles se sont rapprochées des collectivités locales et des autres acteurs du territoire et participent aux réflexions

## PHASE 3 : ELABORATION DES SCENARIOS

pour l'élaboration des projets de territoire. Ce contexte a induit une plus grande proximité entre exploitants, industriels de l'agroalimentaire et consommateurs.

De multiples PME, **fédérées ou non autour de « marques régionales », IAA de proximité** et territorialisées et coopératives agro-alimentaires indépendantes, se sont développées et installées autour des métropoles et grandes agglomérations de la zone littorale afin de répondre aux besoins variés des consommateurs. Elles ont progressivement regagné la confiance des consommateurs et amélioré leur image de marque en proposant une gamme variée de produits alimentaires irréprochables sur le plan de la **qualité, de la sécurité alimentaire et de la traçabilité**.

Sur les territoires ruraux du moyen pays et de la montagne, la région s'appuie désormais sur une **filière agro-alimentaire performante** en complément des activités touristiques et de services aux personnes et aux entreprises.

### Formes d'exploitations

Ce modèle agricole laisse la place à de nombreuses **formes d'exploitations agricoles**, allant de la **grande entreprise** à fort niveau de productivité, capables de se positionner sur les marchés régionaux (Espagne, Maghreb...) avec des productions de qualité et/ou de niche, aux **exploitations de taille plus modeste**, pouvant combiner production sous label de qualité, production / 1ère et 2ème transformation et/ou vente directe et commercialisation sur des marchés locaux.

### Politiques agricoles

**Ce modèle**, bien adapté aux enjeux locaux, **est soutenu par la Région** qui intervient financièrement **en complément des aides de la PAC**. Cela concerne particulièrement les exploitants agricoles qui privilégient les **productions à faible impact climatique et environnemental** ainsi que **l'autoconsommation et la sobriété énergétique** (maîtrise des intrants, de l'énergie et des ressources, recyclage des déchets pour la production de bioénergie à utilisation locale), qui recherchent une plus grande autonomie à travers la diversification des productions ou les complémentarités « cultures-cultures » et « cultures-élevages » ou encore qui cherchent à élargir leurs activités (accueil, services ruraux, services environnementaux, etc) dans le cadre des projets de territoire.

### Foncier agricole

L'intervention politique dans le domaine agricole voit également des effets en matière d'aménagement du territoire : en effet, la politique **régionale de maîtrise des prix du foncier et de préservation des espaces agricoles et naturels périurbains** a permis de maintenir, voire de **développer, des terres agricoles**, mais surtout d'éviter l'accentuation de la fragmentation des milieux. Ainsi, sous la pression de l'urbanisation en début de siècle, **le poids social et économique de l'agriculture** régionale s'est notablement **renforcé**.

**Aux alentours des grandes villes, des « parcs agricoles », sur le modèle milanais, ont vu le jour permettant ainsi de retrouver des superficies agricoles.**

# PHASE 3 : ELABORATION DES SCENARIOS

## Cultures et itinéraires techniques

Pour autant, le visage de l'agriculture régionale n'a pas radicalement changé. Les productions agricoles sont toujours aussi diversifiées du fait de la variété importante des géo-terroirs avec 2 approches principales : d'une part **les grandes cultures, toujours dominantes sur les plateaux intermédiaires** de la moyenne Durance (Forcalquier, Valensole, Albion...), les **plaines du bas Rhône** (Crau et Camargue) et les **bassins de la Provence occidentale** et, d'autre part, une **agriculture écologiquement intensive pour la viticulture, l'arboriculture et l'horticulture**.

Mais si depuis la fin des années 2010 les types de productions sont globalement inchangées, les systèmes agricoles ont dû **adapter les itinéraires techniques** pour coller aux nouvelles contraintes environnementales (telles la réduction des intrants, la préservation de la qualité des sols, les économies d'eau) : malgré les nombreux obstacles et difficultés qui ont freiné la mise en œuvre des nouvelles pratiques, l'agriculture régionale s'est orientée vers **un modèle écologique** dès le début des années 2020. Cela a pris des formes variées comme la **diversification des assolements, la généralisation des cultures fixatrices d'azote** (utilisation de légumineuses, telles que le pois, comme tête d'assolement), le recours plus important au **semis direct**, l'utilisation de **variétés plus adaptées aux caractéristiques pédoclimatiques locales, ou l'optimisation** de la consommation d'eau (pilotage de l'irrigation).

## **Grandes cultures**

Dans le domaine des **grandes cultures**, 3 types dominant : **les plantes à parfum, aromatiques et médicinales**, dominantes sur les plateaux de Valensole et Puymichel (12 à 15 000 ha) qui sont restées relativement stables malgré un marché toujours spéculatif et la concurrence des produits de synthèse ; **le blé dur** qui reste une filière majeure pour la région et dont les surfaces ont enregistré une baisse sensible pour se regrouper sur les secteurs particulièrement bien adaptées à cette culture, principalement les plaines du bas-Rhône et les plateaux bordiers où elles côtoient les surfaces de lavande et de lavandin ; **les protéagineux** (légumineuses à graines telles que le soja, les pois, lupins, lentille,... ou fourragères comme la luzernes, le trèfle,...) qui font valoir leurs atouts dans un contexte d'augmentation du coût des intrants, de protection des ressources naturelles et de déficit de production protéique

Concernant plus particulièrement les cultures céréalières (**blé dur et tendre et trio orge, avoine et seigle**), celles-ci sont toujours présentes dans les bassins de la Provence occidentale et le long de la Durance, mais sont désormais **cultivées en rotation longue et diversifiée** et en **alternance** en tant que **cultures de printemps et d'hiver. Le blé dur en particulier voit ses superficies multipliées par deux pour servir la demande locale en pâtes, mais la proportion de blé dur irrigué reste stable.**

Les légumineuses graines et fourrages, quant à elles, sont utilisées en tête de rotation et représentent chaque année le tiers des surfaces cultivées. Les prairies temporaires, à base de luzerne

## PHASE 3 : ELABORATION DES SCENARIOS

ou de trèfles, d'une durée de 3 ans, sont intégrées dans les rotations. Les fourrages traditionnels sont remplacés par des associations céréales-protéagineux (par exemple mélange triticale-pois fourragers) qui fournissent des fourrages économiques pour les élevages conventionnels ou bio. Désormais, **plus de 30% des grandes cultures utilisent des techniques de semis directs ou sans labour**, qui sont particulièrement valorisées avec l'introduction des légumineuses dans les rotations : en effet, confrontés à l'augmentation du coût des intrants (eau d'irrigation, énergie, produits phytosanitaires...) et des équipements et matériels et la réduction des aides à la production, **les agriculteurs raisonnent de plus en plus en terme de marges nettes plutôt qu'en terme de rendement**. Dans ce contexte, les **techniques de conservation** constituent une réponse d'autant plus pertinente qu'elles permettent de faire face au déficit de main d'œuvre, mais aussi aux attentes sociétales et aux contraintes telles que l'érosion des sols et la réduction des pollutions.

Le maïs et les oléagineux, déjà relativement marginaux en 2010 **sont en perte de vitesse**.

### **Viticulture, arboriculture, maraichage et horticulture**

Pour l'autre pan principal du système agricole régional (**viticulture, arboriculture et horticulture**), les **soutiens financiers de la Région et de la PAC** ont permis à une grande partie des exploitants de s'orienter vers une **agriculture écologiquement intensive**, malgré une gestion technique plus complexe et une productivité plus faible. On recherche donc un optimum entre la productivité, la gestion des intrants et l'impact sur l'environnement, rendu possible par la meilleure connaissance agronomique ainsi que les nouvelles techniques et innovations aujourd'hui maîtrisées (choix des espèces et des variétés les plus adaptées, éclaircissage mécanique, haies bocagères, filets anti-insectes, inter-rangs enherbés, pilotage de la gestion de l'eau d'irrigation, etc.)

**Les surfaces de vignobles** reconnus pour leur **qualité** (vins d'appellation contrôlée du Var, Vaucluse et Bouches du Rhône) **ont progressé sensiblement (+18% à l'horizon 2050)**. **Les légumes ont vu leurs surfaces fortement augmenter (+50%) du fait d'une concurrence moins forte et d'une demande locale marquée**

Les surfaces en vergers et petits fruits ont légèrement augmenté (+6%) surtout du fait de la diversification des productions. Les surfaces en **pommiers ont diminué** sensiblement mais occupent toujours la majeure partie du verger régional. A l'inverse, les surfaces plantées d'**oliviers, de poiriers, de pêchers et nectariniers, de cerisiers mais aussi d'abricotiers et pruniers ont progressé légèrement**.

### **Activité agropastorale**

Enfin, le système agricole régional reste complété par l'activité **agro-pastorale traditionnelle** qui connaît un **véritable essor, favorisé par les mesures agro-environnementales** ainsi que la mise en place de filières de qualité. Elle est fortement présente dans les **zones montagneuses** des trois départements alpins où elle permet de maintenir la diversité et la richesse des milieux naturels,

## PHASE 3 : ELABORATION DES SCENARIOS

mais aussi dans la plaine de la Crau et de la Camargue reflétant là une activité de transhumance toujours bien présente. Les élevages de type industriels sont très peu nombreux. Les surfaces en herbe, prairies temporaires ou permanentes, progressent sur tout le territoire et représentent une part importante de la SAU régionale. Par contre, les prairies sont de moins en moins irriguées, leur fonction première étant de favoriser les services éco systémiques rendus par les superficies fourragères pour des systèmes pastoraux traditionnels. Dans les zones de montagne, la vente de bois et le tourisme rural constituent des compléments de revenus. La fourniture de services environnementaux est rémunérée.

# PHASE 3 : ELABORATION DES SCENARIOS

## ELEMENTS DES SCENARIOS RETENUS POUR LA CONSTRUCTION DES DIFFERENTS MODELES

Les différents scénarios élaborés dans le cadre du programme R2D2 (Sauquet et al., 2014, voir annexe 5) ont été analysés de façon à faire ressortir les éléments qui touchaient plus spécifiquement à la dynamique urbaine. Il s'agissait avant tout de faire ressortir la dimension spatiale de cette dynamique pour pouvoir ensuite proposer une base de règles proche du contenu de chaque scénario en matière de croissance ou de décroissance urbaine.

### Scenario 1: Tendancier

- Poursuite de l'étalement urbain, essentiellement sous la forme de lotissements. Légère densification des centres urbains.
- Développement du côté d'Aix, de Salon et de Cavaillon, Isle sur la Sorgue.
- Léger développement dans les parcs naturels régionaux.
- Desserrement autour d'Aix, jusqu'à Pertuis et Manosque
- Etalement urbain partout. Forme d'extension: par contiguïté et densification
- Rôle spécifique ITER pour Manosque et Pertuis.
- Suppression des contraintes agricoles.
- Industrie: disparition des usines pétrochimiques autour de l'étang de Berre. Création de ZA industriel à Manosque (étalement) et Pertuis (Nouvelle zone).
- Rôle important en matière d'urbanisation du train pendulaire entre Aix, Pertuis et Manosque.
- Surfaces forestières peu grignotées par l'urbanisation. Pas d'évolution de la forêt dans la zone d'influence d'ITER.

### Scenario 2: Densification

- Extension de l'habitat limitée aux grands pôles et la basse vallée du Rhône, densification des espaces urbanisés avant tout.
- Les pôles moyens de l'axe durancien (Pertuis, Salon, Manosque) se densifient. Cavaillon n'est pas concerné.
- Pas d'extension de l'urbanisation en zone rurale. Pas de mitage, pas de développement des lotissements. Pas de véritable rôle du tourisme en matière de résidences secondaires.
- Agriculture : quand il s'agit de cultures intensives ou spécialisées (vignes, oliviers, céréales, prairies, oléagineux), on n'urbanise pas.

## PHASE 3 : ELABORATION DES SCENARIOS

- L'étang de Berre: forte réduction des industries, des friches apparaissent. Le résidentiel n'évolue pas.
- Vallée des énergies nouvelles (Durance de Manosque à Pertuis), création de quelques zones industrielles.
- ITER: Maintien des tendances observées dans le passé, mais on ne réalise pas/peu de nouveaux lotissements. On comble les dents creuses.
- Friches industrielles: autour de l'étang de Berre.

### Scenario 3: Investissement

- Croissance de la population dans la vallée de la Durance par étalement et densification.
- Tous les pôles s'étendent sous la forme de lotissements.
- Mitage de l'espace rural également présent, particulièrement autour de Manosque, Pertuis et plus généralement dans l'ensemble de la vallée de la Durance.
- La densification des espaces urbanisés reste modeste.
- Pas de protection sur les terres agricoles. Développement des friches autour des villes.
- Développement industrielle important, même autour de l'étang. L'industrie s'étend aussi vers la plaine de la Crau. Elle se développe notablement dans la vallée de la Durance.
- Les territoires sont accessibles grâce aux infrastructures de transport développées pour faciliter les déplacements pendulaires (RER).
- Développement du tourisme notamment autour de Vinon, Gréoux et dans le Luberon.
- Zones forestières inchangées.

### Scenario 4: Crise

- Baisse de la population, on se rabat sur les centres-villes, on repeuple les petites communes (y compris pôles ruraux). Banlieues devenues peu attractives, se vident vers l'extérieur et le centre-ville. Les petites communes sont les grandes gagnantes.
- Pas de développement des transports facilitant l'étalement urbain. On limite les déplacements pendulaires. Le moteur touristique est en panne.
- Industrie: ITER reste un moteur jusque dans les années 2030. Des zones d'activités apparaissent seulement à Manosque et Pertuis, qui ne s'étalent pas en matière de résidentiel.
- Les vignes et prairies restent des contraintes limitant l'urbanisation.
- L'industrie autour de l'étang de Berre disparaît et laisse place à des friches.

## PHASE 3 : ELABORATION DES SCENARIOS

- Globalement s'il y a étalement urbain, il se fait de manière plus compacte
- Forêt inchangée.

### Scenario 5: Ecologique

- Retour dans les centres urbains, très forte densification. Ce scénario est proche du scénario de crise en termes d'implantation des zones d'habitat.
- Pas de développement de l'industrie dans les parcs naturels régionaux, pas de construction nouvelle dans les secteurs classés ZNIEFF2.
- Implantations industrielles partout mais moins que dans le scénario investissement. Une partie des surfaces est dédiée à des parcs solaires ou éoliens au détriment des terres agricoles.
- Etang de Berre: reconversion dans l'ingénierie environnementale, pas de friche.
- La vallée des énergies nouvelles compte plusieurs petites zones d'activités, mais le développement résidentiel est fortement contrôlé.
- ITER est générateur d'une urbanisation qui reste dense et qui s'étale peu. Ce sont surtout les petits villages qui s'étendent.
- Au niveau agricole, les espaces bénéficiant d'une AOC, les vignes et les terres où l'on pratique l'arboriculture sont des freins en matière d'urbanisation. Ailleurs, l'agriculture régresse au profit des zones d'activités dédiées aux énergies vertes (industrie).
- Forêt : on crée des franges forestières autour des pôles urbains les plus importants.

Il apparaît donc qu'à partir des scénarios réalisés dans le cadre du programme R2D2, une première étape a consisté à spatialiser l'information en vue de construire différentes bases de règles sous Spacelle associées aux différents scénarios. Cette première étape est essentielle car elle consiste en une simplification importante des scénarios proposés. C'est pourquoi, elle a fait l'objet d'une validation par le LNHE avant la construction des différentes bases de règles.

# Phase 4 : simulation des changements d'occupation humaine et physique des sols à l'horizon 2050 et évaluation de la population présente.

Nous présentons ici les différentes transformations apportées au modèle de rétro-simulation sur la période 1970-2010 pour correspondre aux différents scénarios d'évolution du territoire en 2050 (les bases de règles utilisées dans SpaCelle sont présentées en annexe).

Par rapport à la base de règles ayant permis de réaliser le modèle de rétro-simulation, les règles ont été soit conservées, soit supprimées ou encore ajoutées (elles portent un numéro supérieur à 37). Certaines règles ont été modifiées partiellement par suppression ou ajout de contraintes ou par modification des voisinages pris en compte.

Nous présentons également des exemples de cartes résultantes qui proposent les évolutions possibles du territoire observé à l'horizon 2050. Elles ont servi de base à une estimation de la population en 2050 dont nous détaillons la méthodologie ci-après. Dans le texte, par principe de concision, nous ne donnons qu'un seul résultat cartographique par scénario. Les autres cartes peuvent être trouvées dans le dossier « SIMULATION SCENARIOS ».

### METHODE DE CALCUL DE LA POPULATION A PARTIR DES CARTES ISSUES DES SIMULATIONS

Les cellules d'une même classe d'occupation du sol ont à peu près le même nombre de bâtiments, quelle que soit leur commune d'appartenance. Notre objectif est d'associer à chaque type de bâtiment un nombre de logements contenant chacun un ménage dont la taille moyenne est connue grâce aux données des recensements. En 2010, la taille moyenne des ménages français était de 2.27

## PHASE4 : RESULTATS ET DISCUSSION

personnes. Si pour de nombreuses classes on peut considérer qu'un bâtiment ne contient qu'un seul logement/ménage (rural peu dense, rural dense, lotissement pavillonnaire), ce nombre est plus élevé si on considère les classes d'état grand ensemble, banlieue, pôle rural ou centre urbain. Il a donc fallu, pour ces classes, estimer un nombre moyen de logements/ménages par bâtiment en respectant au mieux la taille moyenne des ménages et la population des communes issues des recensements de la population. Pour ceci nous avons procédé en deux temps :

D'abord, pour l'année 2010, pour chaque classe d'occupation du sol, nous avons calculé la moyenne du nombre de bâtiments par cellule  $N_{cs}$  :

$$N_{cs} = \frac{B_{cs}}{C_{cs}} \quad (1)$$

où  $cs$  est une classe d'occupation du sol,  $B_{cs}$  est le nombre de bâtiments total d'une  $cs$ , et  $C_{cs}$  le nombre de cellule d'une  $cs$ .

Les valeurs de  $B$ ,  $C$  et  $N$  indiquées par  $cs$  sont réunies dans un tableau comme suit :

**Tableau 7 : Nombre de cellules, de bâtiments et nombre moyen de bâtiments et de logements par cellule et par classe d'occupation du sol**

Classe $cs$	Libellé de classe d'occupation du sol	Nombre de cellules $C_{cs}$	Nombre de bâtiments $B_{cs}$	Nombre moyen de bâtiments par cellule $N_{cs}$	Nombre moyen de logements/ménages par cellule
1	Rural peu dense	17846	42103	2,4	2,4
2	Banlieue d'agglomération	1179	89490	75,9	100
3	Centre-ville dense d'agglomération	238	32635	137,1	160
4	Lotissement pavillonnaire	1538	54145	35,2	35,2
5	Pole Rural	100	5569	55,7	100
6	Rural dense	2562	42452	16,6	16,6
7	Grand ensemble	47	1001	21,3	600
8	Forêt	19120	11728	0,6	0,6
9	Activité industrielle	727	4237	5,8	5,8
10	Activité commerciale	32	385	12,0	12,0

Pour les classes d'occupation du sol où l'habitat individuel domine nettement, nous avons considéré que le nombre de logements/ménages était à peu près identique au nombre de bâtiments. Pour les autres classes, il a fallu procéder autrement, l'habitat collectif étant très présent dans les centres urbains, les banlieues et surtout dans les secteurs de grands ensembles. Dans ce dernier cas, le nombre moyen de bâtiments par cellule est de 21,3 d'après le calcul dans le tableau 7, ce qui ne correspond pas au nombre de logements/ménages.

## PHASE4 : RESULTATS ET DISCUSSION

Pour estimer le nombre moyen de logements/ménages par cellule associé aux classes d'occupation du sol comptant des grands ensembles ou une diversité des formes d'habitat (individuel et collectif), nous nous sommes appuyés sur le nombre moyen de personnes par ménage et sur la population des communes en 2010 (source INSEE).

Pour les différentes classes en question, nous avons testé plusieurs valeurs concernant le nombre de logements par cellule. Pour les grands ensembles, des tests ont été fait en prenant 500, 600, 800, 1000 logements par cellule et les résultats ont été évalués à partir d'une régression linéaire croisant le nombre de logements  $N_{com}$  estimé par commune à partir du nombre moyen de logements/ménages attribué à chaque classe d'occupation du sol (X) et la population communale issue du recensement 2010 (Y).

$$N_{com} = \sum_{cs=1}^{10} N_{cs} \quad (2)$$

Où *com* est une commune.

La validation du nombre de logements/ménages estimé par cellule et par classe d'occupation du sol, s'est faite en vérifiant (1) que le coefficient directeur de l'équation reste proche du nombre moyen de personnes par logement/ménage (2.27 en 2010) et (2) que le coefficient de détermination (R<sup>2</sup>) soit élevé.

Si l'on compare  $N_{com}$  avec le recensement de la population de 2010 par commune, on obtient une corrélation de bonne qualité (R<sup>2</sup> = 0,97). Le coefficient directeur de la régression linéaire montre qu'un logement/ménage compte 2,15 personnes (voir la formule de l'équation sur la figure ci-dessous) ce qui est très proche des 2.27 personnes par ménage observé au niveau national (tableau 8).

**Tableau 8 : Evolution de la taille moyenne des ménages (INSEE<sup>6</sup>)**

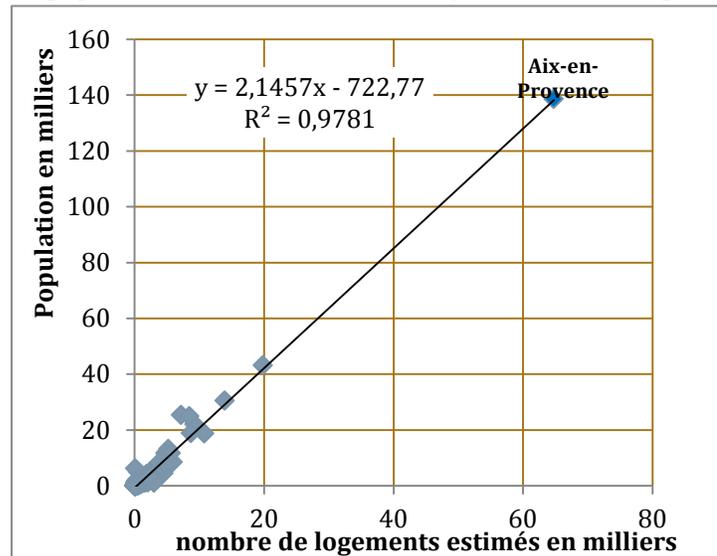
	1975	1982	1990	1999	2005	2010
<b>Population des résidences principales (milliers)</b>	52 599	54 296	56 652	58 492	60 702	61 297
<b>Nombre de ménages (milliers)</b>	17 745	19 589	21 542	23 776	25 689	27 106
<b>Nombre de personnes par ménage</b>	2,88	2,7	2,57	2,4	2,31	2.27

<sup>6</sup> [http://www.insee.fr/fr/themes/document.asp?ref\\_id=ip1106&reg\\_id=0](http://www.insee.fr/fr/themes/document.asp?ref_id=ip1106&reg_id=0)

[http://www.insee.fr/fr/themes/tableau\\_local.asp?ref\\_id=MEN7&millesime=2010&niveau=1&typegeo=ME-TRODOM&codgeo=1](http://www.insee.fr/fr/themes/tableau_local.asp?ref_id=MEN7&millesime=2010&niveau=1&typegeo=ME-TRODOM&codgeo=1)

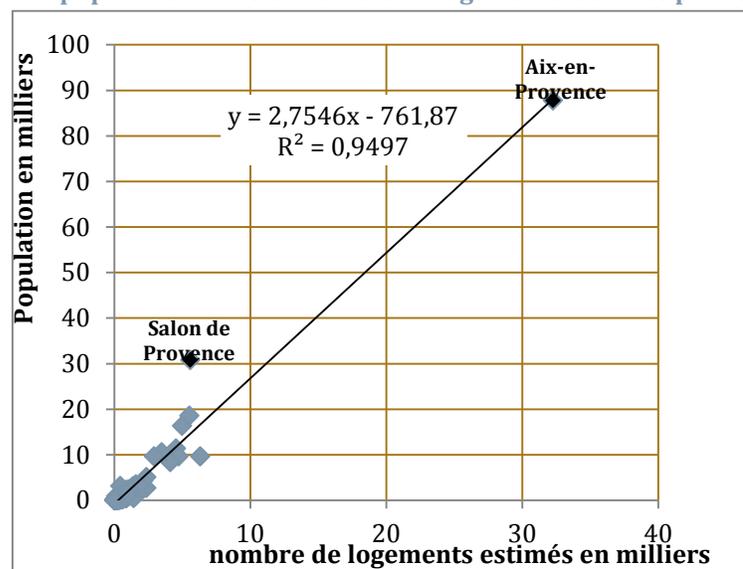
# PHASE4 : RESULTATS ET DISCUSSION

Figure 29 : population 2010 et nombre de logements estimés par commune



Pour l'année de 1970, avec l'hypothèse que le nombre moyen de logements par type d'occupation du sol est égal à celui de 2010, on compte 2,75 personnes par logement/ménage selon le coefficient directeur de la droite de régression, ce qui correspond bien à la réalité (2.88 par ménage, tableau 8). La qualité de la relation est également élevée ( $R^2=0,95$ ) en 1975. Seul, Salon de Provence s'écarte du modèle dans la mesure où le nombre moyen d'habitants par logement est élevé.

Figure 30 : population 1975 et nombre de logements estimés par commune



On voit que dans les deux équations il y a une constante qui s'ajoute à la formule. Ceci peut être expliqué par les logements vides.



## PHASE4 : RESULTATS ET DISCUSSION

Le tableau 9 qui présente les résultats en km<sup>2</sup> de dix simulations réalisées sur la période 2010-2050 montre une grande stabilité des résultats par état en fonction des simulations même si, dans le détail, le poids des règles varie.

Combiné avec l'analyse de la carte 44 issue d'une des dix simulations réalisées, nous pouvons faire ressortir plusieurs éléments :

- Les surfaces en lotissements doublent quasiment. Leur développement se fait la plupart du temps dans le prolongement de la banlieue ou à une distance raisonnable d'un centre urbain.
- La banlieue s'étend assez modestement autour d'Aix-en-Provence, beaucoup plus nettement autour des autres agglomérations.
- Le rural dense augmente de moitié, renforçant ainsi le phénomène de mitage. En effet, les maisons individuelles construites dans cette classe d'état (rural dense) ne sont pas nécessairement proches d'un centre urbain. Ce phénomène de mitage, s'il est présent sur toute la carte, est particulièrement marqué dans un quart nord-ouest de la zone étudiée ainsi qu'au sud d'Aix-en-Provence.
- L'industrie, si elle disparaît à proximité de l'étang de Berre, connaît une croissance notable de plus de 50% quelle que soient les simulations. Plusieurs zones industrielles (considérées dans un sens large) se développent autour des principales communes, à l'exception d'Aix-en-Provence où son développement est repoussé sur les marges éloignées de l'agglomération. Dans le secteur du CEA, ce développement industriel est particulièrement appuyé autour de Manosque et de Pertuis en raison de la présence d'ITER (carte).
- La croissance des différents types d'occupation du sol évoqués se fait essentiellement aux dépens des espaces agricoles (rural peu dense) dont les surfaces diminuent d'environ 300km<sup>2</sup>.

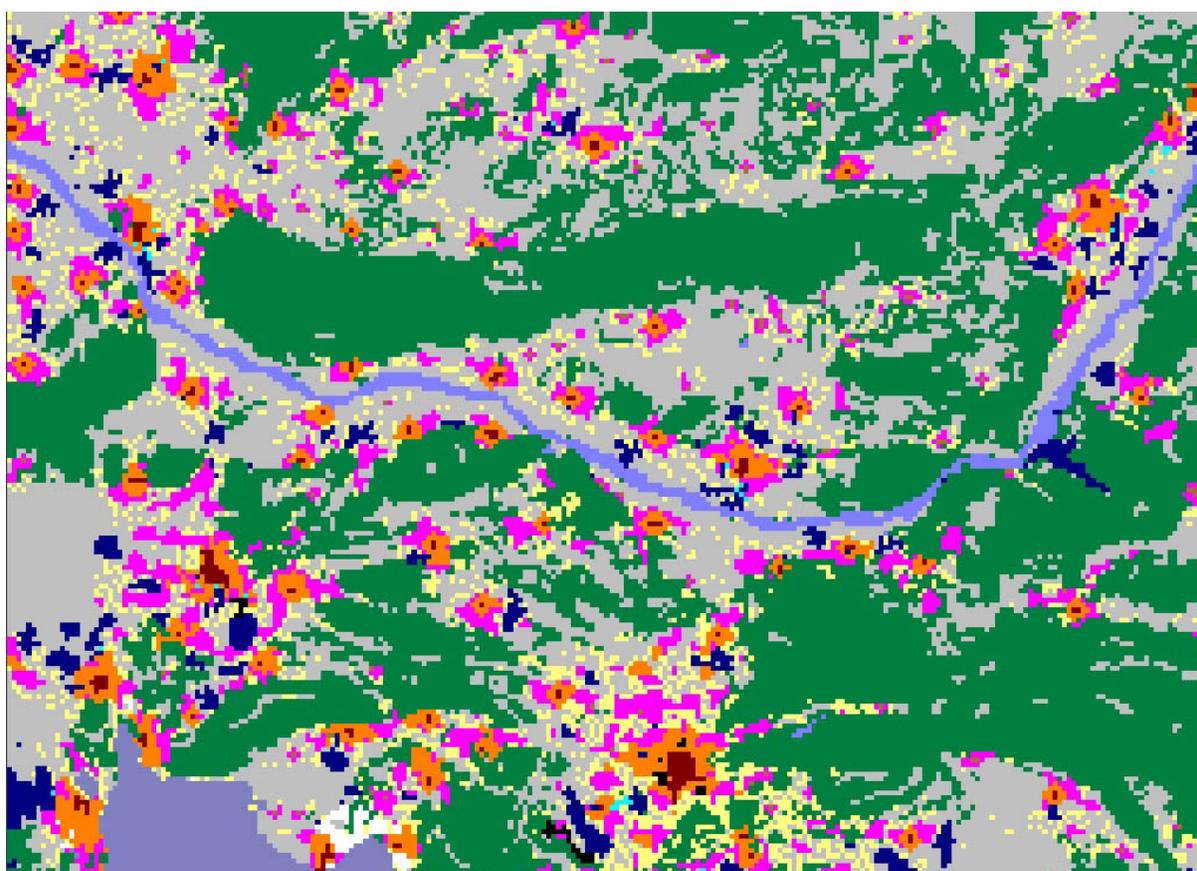
Nous n'avons pas établi de règles sur l'évolution des centres urbains, des zones commerciales (appelées tertiaires), des grands ensembles ni sur ce qui est appelé pôle rural et qui correspond au centre ancien d'une petite commune rurale.

**Tableau 9: Comparaison des surfaces occupées par les différents modes d'occupation du sol en 2050 selon le scénario tendanciel**

	2010	sim1	sim2	sim3	sim4	sim5	sim6	sim7	sim8	sim9	sim10
Rural peu dense	1606	1307	1306	1306	1309	1304	1304	1307	1303	1308	1306
Banlieue	106	155	155	155	155	154	154	155	154	156	155
Cœur urbain	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Lotissements, pavillonnaire	138	271	272	271	268	271	272	274	268	270	271
Pôle rural	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Rural dense	231	308	306	304	304	308	310	302	309	310	308
Forêt	1721	1717	1718	1717	1717	1717	1717	1718	1717	1718	1718
Grands ensembles	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Industrie	58	93	95	99	98	96	94	95	99	90	92
Tertiaire	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Friche	0	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9

**Carte 44- Etats d'occupation du sol en 2050 pour une simulation du scénario tendanciel**

## PHASE4 : RESULTATS ET DISCUSSION



**Tableau 10: Taux de croissance annuel pour les 10 simulations du scenario tendanciel**

taux de croissance annuel moyen entre 2010 et 2050	
Simulation 1	7,12 ‰
Simulation 2	7,12 ‰
Simulation 3	7,12 ‰
Simulation 4	7,12 ‰
Simulation 5	7,12 ‰
Simulation 6	7,12 ‰
Simulation 7	7,12 ‰
Simulation 8	7,12 ‰
Simulation 9	7,12 ‰
Simulation 10	7,12 ‰
<b>Moyenne</b>	<b>7,12 ‰</b>
<b>Ecart-Type</b>	<b>0,04 ‰</b>

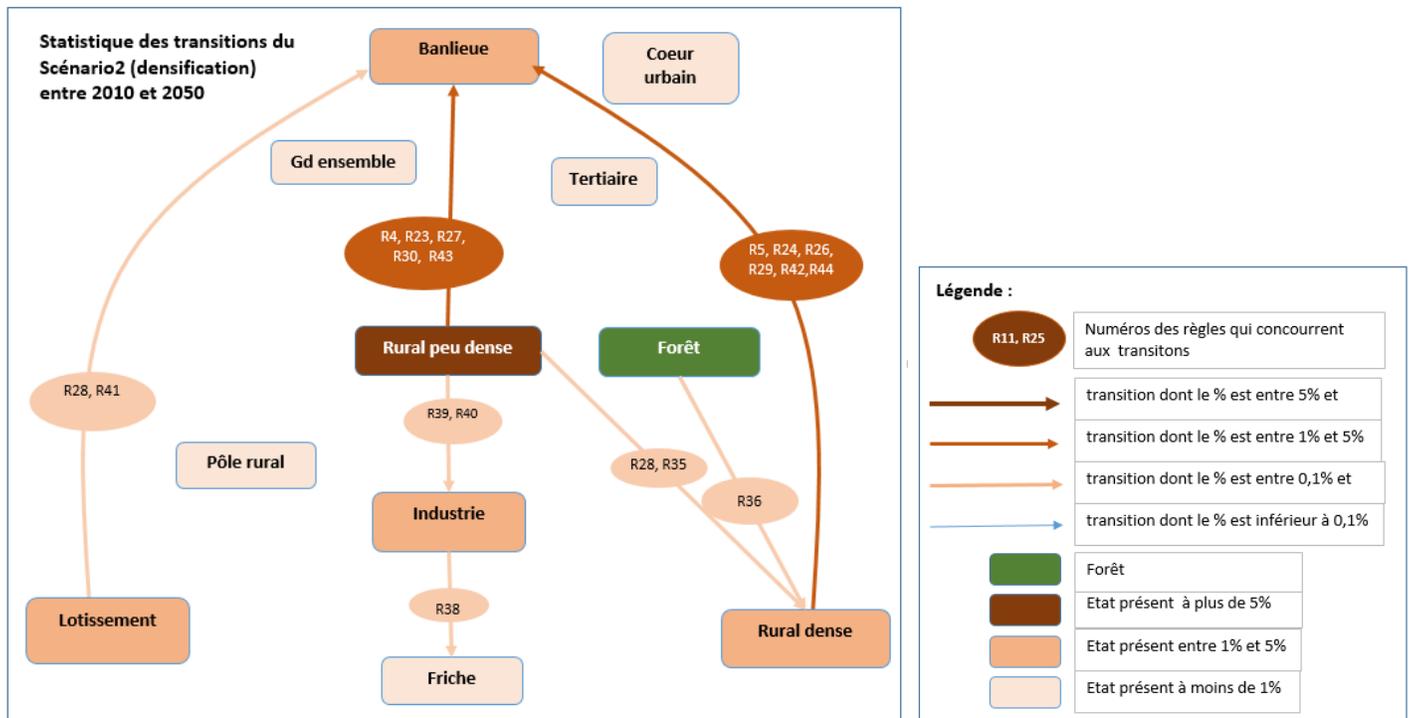
Selon le scénario tendanciel, le taux de croissance annuel moyen s'établirait autour de 7.1‰, ce qui reste inférieur au taux de 10‰ observé entre 1968 et 2010 mais apparaît plausible en raison du nombre d'habitants recensé dans la zone en 2010 (864 700 habitants) qui est beaucoup plus important qu'en 1968 (408 000 habitants). Partant d'un nombre moyen de personnes par logement de 2.2, la population résidant dans notre zone d'étude serait alors de 1 105 163 habitants en 2050.

# PHASE4 : RESULTATS ET DISCUSSION

## Scénario2 : Densification (pouvoir régional)

Le scénario densification n'utilise que 19 règles. Les règles concernant le développement des lotissements ont été enlevées, tout comme les anciennes règles relatives au développement industriel. Deux règles spécifiques limitant le développement industriel au secteur situé dans l'aire d'influence d'ITER ont été ajoutées (règles 39 et 40). Le rural dense continue de se développer mais seulement grâce à deux règles (contrairement aux 6 règles utilisées dans le scénario tendanciel) qui autorisent son développement à proximité des principaux centres urbains. Il n'est plus question de permettre le mitage de l'espace rural et le Lubéron ne compte aucune nouvelle cellule relevant de cet état. Enfin, le développement de la banlieue est privilégié grâce à 13 règles, à condition que cela n'empiète pas sur certaines cultures telles que les vignes, les prairies, les oliviers, les céréales, les productions de semences, etc.

Figure 32 : Règles associées au scénario densification (pouvoir régional)



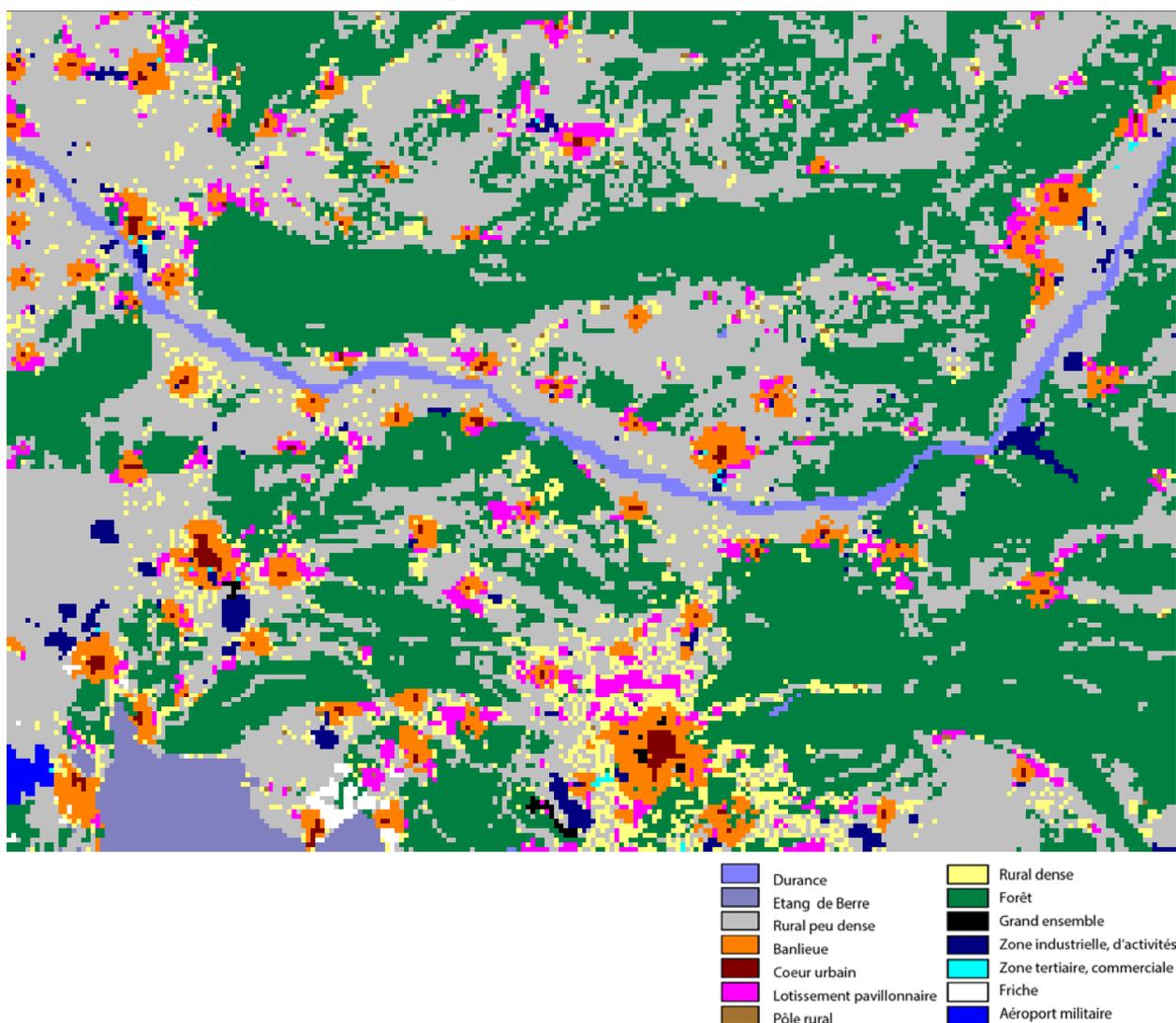
Le tableau 10 qui présente les résultats en km<sup>2</sup> de dix simulations réalisées sur la période 2010-2050, montre à nouveau une grande stabilité des résultats par classe d'état en dépit de variations importantes dans la contribution des règles.

# PHASE4 : RESULTATS ET DISCUSSION

Tableau 11 : Surfaces occupées en km<sup>2</sup> par les modes d'occupation du sol en 2050 selon le scenario densification

	2010	Sim1	Sim2	Sim3	Sim4	Sim5	Sim6	Sim7	Sim8	Sim9	Sim10
Rural peu dense	1606,1	1540,6	1541,3	1542,0	1543,3	1542,9	1543,1	1543,3	1541,2	1538,3	1541,8
Banlieue	106,2	201,1	197,9	200,3	198,5	199,1	196,7	198,3	199,2	200,6	197,0
Cœur urbain	21,4	21,4	21,4	21,4	21,4	21,4	21,4	21,4	21,4	21,4	21,4
Lotissements, pavillonnaire	138,4	124,2	124,8	124,3	124,1	124,7	124,4	124,2	124,4	124,3	124,6
Pôle rural	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9
Rural dense	230,6	216,6	219,2	216,4	217,0	217,6	218,8	218,1	217,2	218,8	219,3
Forêt	1720,8	1717,1	1716,7	1716,4	1717,2	1716,7	1716,9	1716,4	1717,4	1717,8	1717,4
Grands ensembles	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2
Industrie	65,4	49,0	48,6	49,3	48,5	47,7	48,6	48,3	49,3	48,8	48,5
Tertiaire	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9
Friche	0,0	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3

Carte 45- Occupation du sol en 2050 pour une simulation du scenario densification



## PHASE4 : RESULTATS ET DISCUSSION

Combiné avec l'analyse de la carte 45 issue d'une des dix simulations réalisées, nous pouvons faire ressortir plusieurs éléments :

- Il apparaît que le rural peu dense (espaces essentiellement agricoles) perd beaucoup moins de surface que dans le scénario tendanciel (environ 66km<sup>2</sup>).
- Les surfaces de banlieue doublent quasiment, aux dépens du rural peu dense mais également du rural dense et des lotissements pavillonnaires les plus proches des cœurs urbains.
- La banlieue se développe quelle que soit la taille du pôle urbain. On note cependant un développement important autour de Manosque et au sud d'Aix, plus spécifiquement dans le secteur sous influence marseillaise.
- Le rural peu dense se développe surtout au sud de la Durance autour d'Aix-en-Provence et à proximité de la vallée du Rhône. Manosque et Cavaillon sont les seules communes de la rive droite à compter quelques nouvelles cellules de rural dense.
- Les surfaces dédiées à l'industrie (au sens large) diminuent légèrement. Elles progressent ponctuellement dans l'aire d'influence d'ITER mais régressent autour de l'étang de Berre laissant des espaces en friches.<sup>7</sup>

Si la faible consommation d'espace agricole (66km<sup>2</sup> environ) caractérise ce scénario, la densification de l'espace urbanisé produit une croissance de population notable même si elle reste inférieure aux résultats produits par le scénario écologique. Selon le scénario densification, le taux de croissance annuel moyen s'établirait autour de 2.9 %. Partant d'un nombre moyen de personnes par logement de 2.2, la population résidant dans notre zone d'étude serait de 976 104 personnes en 2050 (+111 500 personnes par rapport à 2010) avec une très faible consommation de l'espace agricole, la ville se reconstruisant essentiellement sur elle-même.

**Tableau 12: taux de croissance annuel pour 10 simulations du scénario de densification**

En %	Taux de croissance annuel moyen entre 2010 et 2050
Simulation 1	3,034
Simulation 2	2,877
Simulation 3	2,986
Simulation 4	2,874
Simulation 5	2,928
Simulation 6	2,791
Simulation 7	2,875
Simulation 8	2,927
Simulation 9	3,027
Simulation 10	2,815
<b>Moyenne</b>	<b>2,913</b>
<b>Ecart-type</b>	<b>0,079</b>

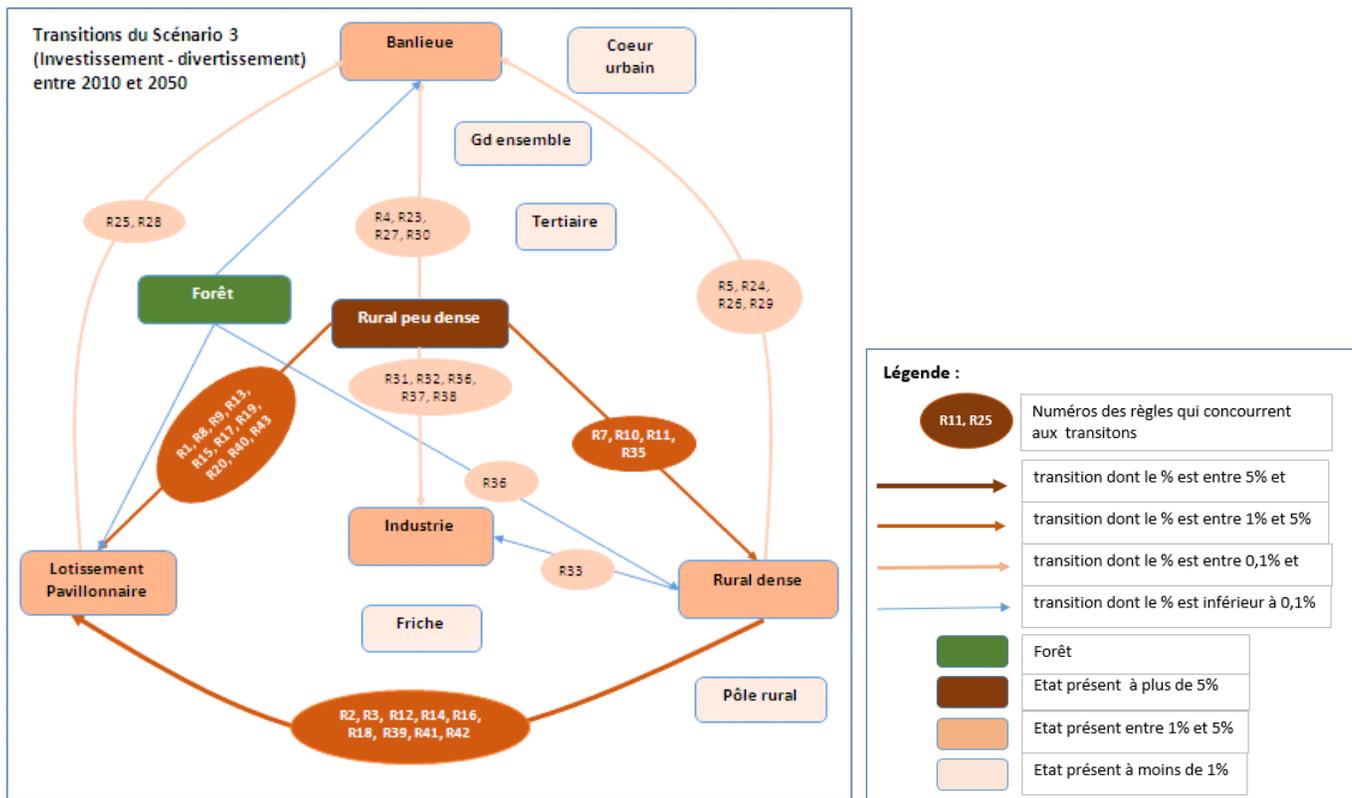
<sup>7</sup> Nous n'avons pas établi de règles sur l'évolution des centres urbains, des zones commerciales (appelées tertiaires), des grands ensembles ni sur ce qui est appelé pôle rural et qui correspond au centre-ville d'une petite commune.

# PHASE4 : RESULTATS ET DISCUSSION

## Scénario 3 : Investissement

Ce scénario utilise 40 règles (la base de règles est présentée en annexe). L'essentiel des règles a été conservé parfois en élargissant les voisinages et en supprimant systématiquement les contraintes agricoles. Les règles introduites (numéros supérieurs à 37) concernent l'industrie dans le secteur d'ITER et le développement des lotissements pavillonnaires qui se répandent sur tout le territoire.

Figure 33 : Règles associées au scénario investissement



L'analyse de la carte 46 issue d'une des dix simulations réalisées, combinée avec le tableau des surfaces occupées par chaque mode d'occupation du sol en 2050 fait ressortir plusieurs éléments :

- Les surfaces occupées par les lotissements ont été multipliées par trois. Ces derniers se développent autour des villes et villages quelle que soit leur taille. Le phénomène est particulièrement marqué autour d'Aix-en-Provence et de Salon-de-Provence. Cette extension se fait aux dépens du rural peu dense (espaces agricoles) et du rural dense qui progresse néanmoins.
- Le rural dense participe au phénomène de mitage aux dépens des terres agricoles. Le phénomène est particulièrement visible dans le quart nord-ouest de la zone étudiée.
- Les surfaces, avant tout dédiées à l'agriculture (rural peu dense), perdent environ 30km<sup>2</sup> de plus que dans le scénario tendanciel.

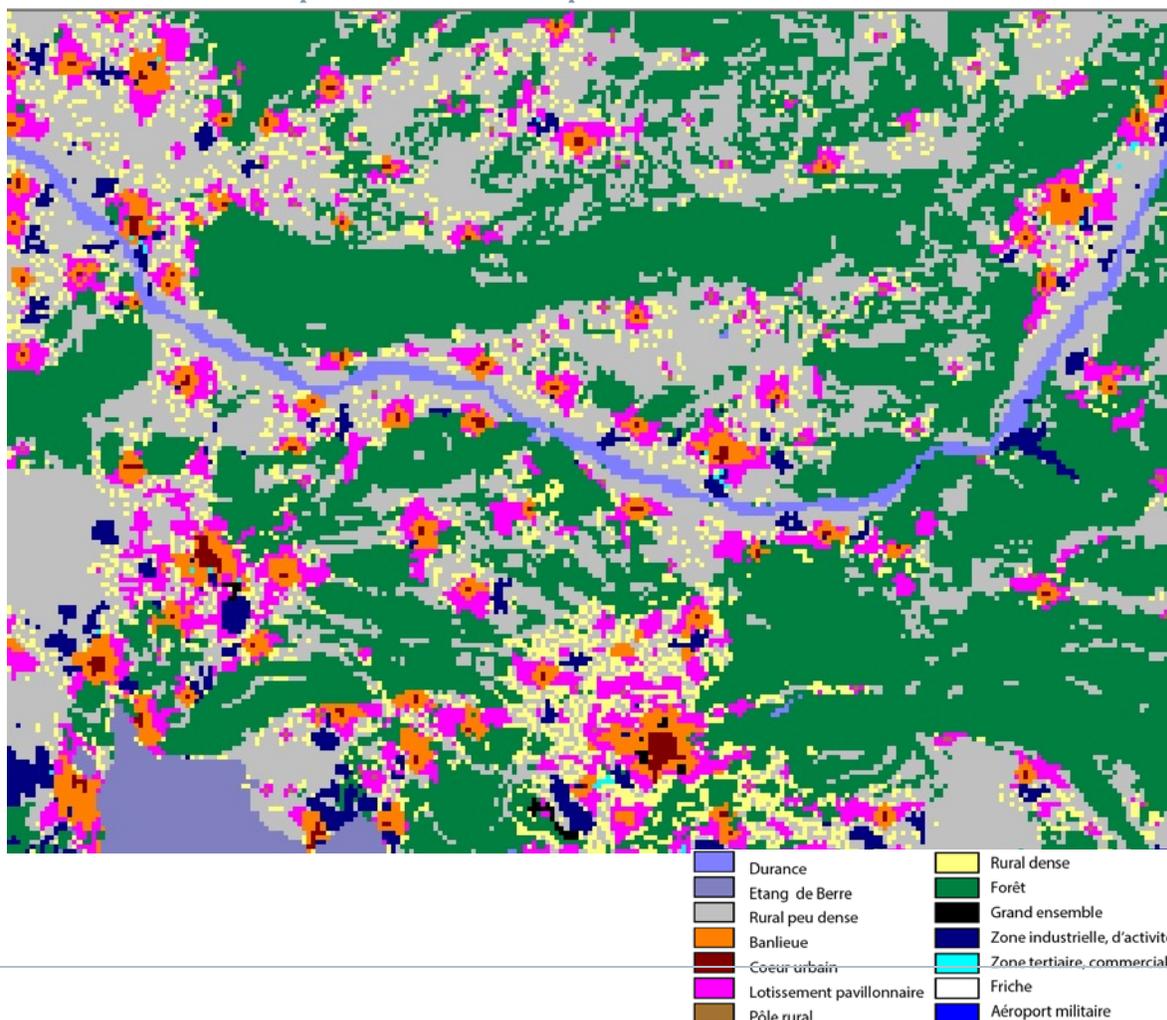
# PHASE4 : RESULTATS ET DISCUSSION

- La banlieue s'étend également dans des proportions voisines de celle du scénario tendanciel. Le phénomène est particulièrement visible autour des petites et moyennes agglomérations.
- Enfin, les espaces industriels connaissent une progression légèrement inférieure à celle du scénario tendanciel. Les différentes zones industrielles existantes s'étendent mais la concurrence avec les lotissements en matière d'occupation des terrains à la fois plats et proches des centres urbains limite la création de nouvelles zones d'activités.

Tableau 13: Comparaison des surfaces occupées en km<sup>2</sup> par les différents modes d'occupation du sol en 2050 selon le scénario investissement

	2010	sim1	sim2	sim3	sim4	sim5	sim6	sim7	sim8	sim9	sim10
Rural peu dense	1606	1274	1276	1277	1274	1268	1274	1272	1277	1271	1271
Banlieue	106	155	155	155	155	155	154	154	155	156	155
Cœur urbain	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Lotissements, pavillonnaire	138	316	316	315	314	320	315	312	314	317	315
Pôle rural	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Rural dense	231	309	305	306	309	309	307	312	311	309	311
Forêt	1721	1717	1717	1718	1717	1717	1717	1718	1717	1717	1718
Grands ensembles	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Industrie	58	89	91	89	92	91	93	92	87	90	90
Tertiaire	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Friche	0	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9

Carte 46- Etats d'occupation du sol en 2050 pour une simulation du scénario investissement



# PHASE4 : RESULTATS ET DISCUSSION

Le laisser-faire en matière de réalisation de lotissements permet à une population plus nombreuse de vivre dans la région. Le taux de croissance annuel moyen avoisine les 8‰, ce qui est nettement supérieure au scénario tendanciel (7.1‰). Partant d'un nombre moyen de personnes par logement de 2.2, la population résidant dans notre zone d'étude serait de 1 135 246 habitants en 2050.

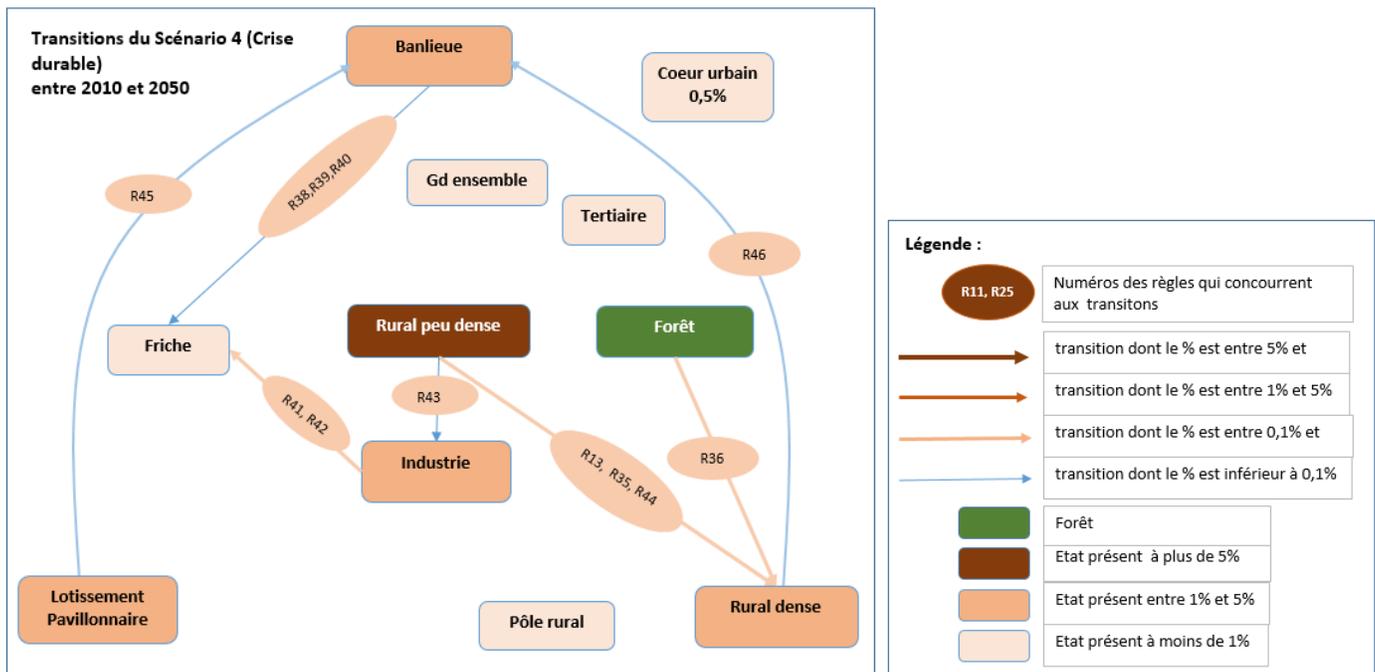
**Tableau 14: taux de croissance annuel pour les 10 simulations du scénario d'investissement**

2050	
Simulation 1	8,03 ‰
Simulation 2	7,99 ‰
Simulation 3	7,95 ‰
Simulation 4	7,98 ‰
Simulation 5	8,09 ‰
Simulation 6	7,92 ‰
Simulation 7	7,93 ‰
Simulation 8	8,00 ‰
Simulation 9	8,09 ‰
Simulation 10	8,04 ‰
<b>Moyenne</b>	<b>7,99 ‰</b>
<b>Ecart-Type</b>	<b>0,06 ‰</b>

## Scénario 4 : Crise

Le scénario de crise n'utilise que 12 règles. Les difficultés économiques régionales se traduisent par un quasi-arrêt de l'urbanisation dans notre zone d'étude, voire le déclin de certains secteurs de banlieue autour d'Aix-en-Provence et des principaux pôles urbains où apparaissent des friches urbaines. L'industrie autour de l'étang de Berre connaît également des difficultés notables. Seules les activités induites par Iter se développent. Ailleurs ce sont principalement les pôles ruraux qui tirent leur épingle du jeu. Ils connaissent un étalement urbain sous une forme dense (banlieue).

**Figure 34 : Règles associées au scénario crise.**



## PHASE4 : RESULTATS ET DISCUSSION

L'analyse de la carte 47 issue d'une des dix simulations réalisées, combinée avec le tableau des surfaces occupées par chaque mode d'occupation du sol en 2050 en km<sup>2</sup> fait ressortir plusieurs éléments :

- Les centres urbains, les lotissements et la banlieue occupent des surfaces quasiment inchangées. Si pour les deux premiers cela tient à une absence de règles, c'est le résultat d'une double tendance concernant la banlieue : l'apparition de friches urbaines autour des principaux pôles urbains et le développement ponctuel de la banlieue autour de quelques pôles ruraux.
- Le rural peu dense (espaces agricoles) perd peu de surface au profit du rural dense qui grignote également quelques kilomètres carrés de forêt.
- Le déclin de l'industrie apparaît clairement. Les surfaces diminuent d'environ 40% et sont remplacées par des friches.

**Tableau 15: Comparaison des surfaces en km<sup>2</sup> occupées par les différents modes d'occupation du sol en 2050 selon le scenario de crise**

	2010	sim1	sim2	sim3	sim4	sim5	sim6	sim7	sim8	sim9	sim10
<b>Rural peu dense</b>	1606	1594	1593	1594	1594	1593	1593	1593	1593	1593	1593
<b>Banlieue</b>	106	107	105	105	104	106	106	105	105	105	105
<b>Cœur urbain</b>	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
<b>Lotissements, pavillonnaire</b>	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138
<b>Pôle rural</b>	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
<b>Rural dense</b>	231	245	246	245	247	245	246	245	246	246	245
<b>Forêt</b>	1721	1717	1716	1717	1717	1718	1717	1718	1717	1717	1718
<b>Grands ensembles</b>	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Industrie</b>	58	33	35	34	33	35	34	35	34	35	34
<b>Tertiaire</b>	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
<b>Friche</b>	0	30	31	31	32	30	30	30	31	30	31

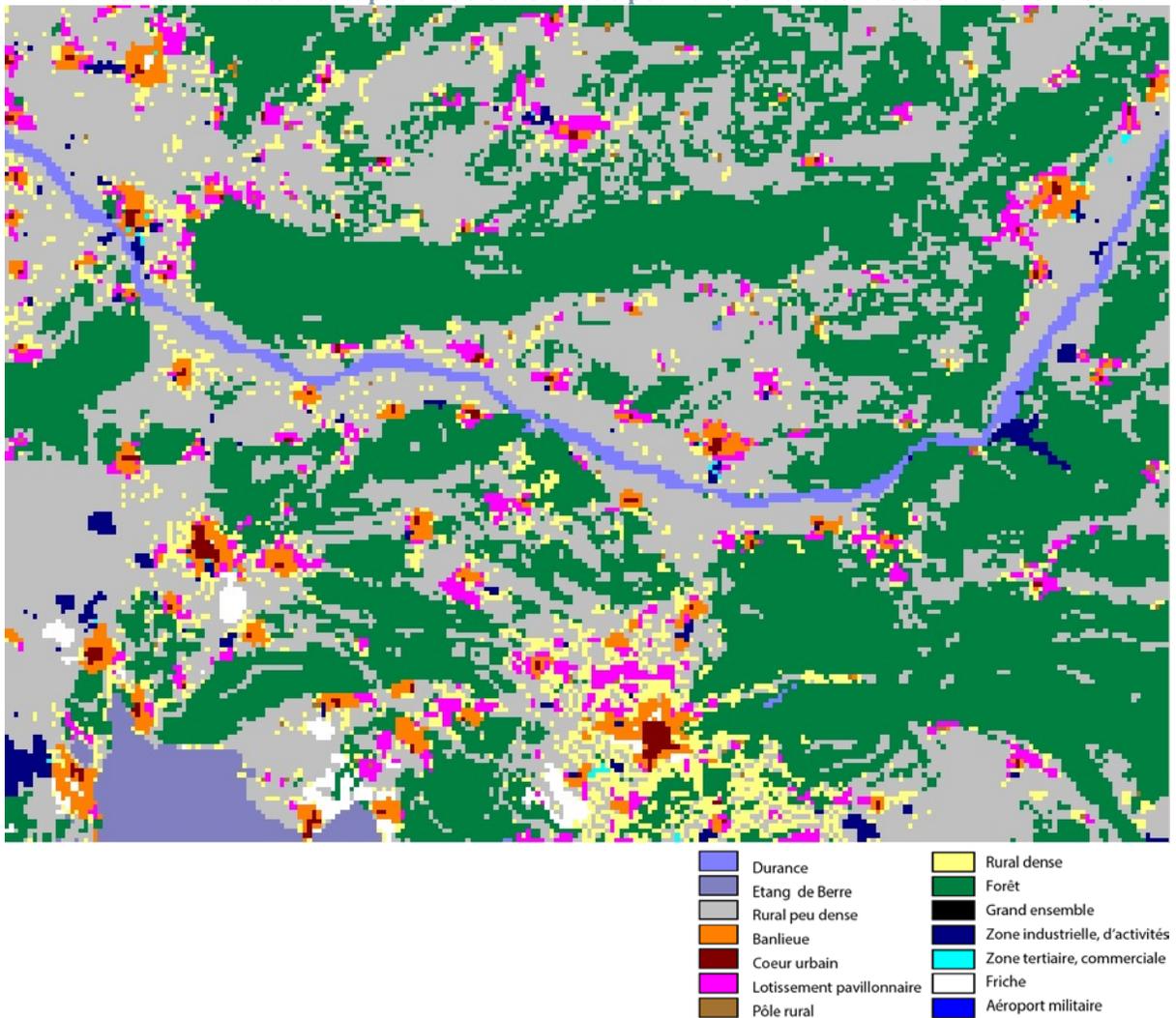
Les difficultés économiques de la zone d'étude se traduisent par une diminution de la population. Le taux de croissance annuel moyen est d'environ -2‰. Partant d'un nombre moyen de personnes par logement de 2.2, la population résidant dans notre zone d'étude serait de 787 152 habitants en 2050, soit une diminution d'environ 77 500 individus.

**Tableau 16: taux de croissance annuel pour les 10 simulations du scenario de crise**

taux de croissance annuel moyen entre 2010 et 2050	
Simulation 1	-1,99 ‰
Simulation 2	-2,21 ‰
Simulation 3	-2,18 ‰
Simulation 4	-2,24 ‰
Simulation 5	-2,13 ‰
Simulation 6	-2,14 ‰
Simulation 7	-2,20 ‰
Simulation 8	-2,20 ‰
Simulation 9	-2,17 ‰
Simulation 10	-2,22 ‰
<b>Moyenne</b>	<b>-2,12 ‰</b>
<b>Ecart-Type</b>	<b>0,07 ‰</b>

## PHASE4 : RESULTATS ET DISCUSSION

Carte 47- Etats d'occupation du sol en 2050 pour une simulation du scenario de crise

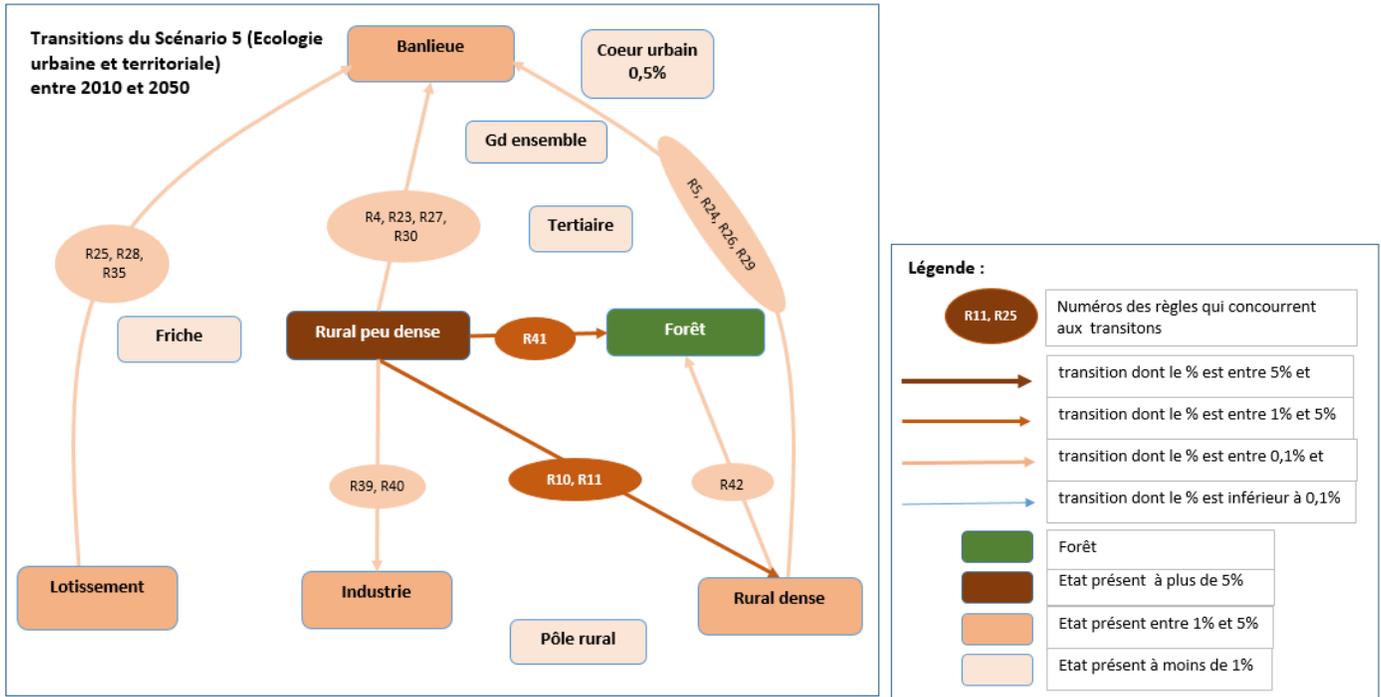


### Scénario5 : Ecologique

Le scénario écologique fait appel à 17 règles. Il privilégie également une urbanisation sous une forme dense, la préservation des terres agricoles et des espaces protégés tout en assurant leur diversification. Le développement des espaces urbains sous la forme de lotissements pavillonnaires est abandonné au profit d'une forme d'urbanisation dense. La forêt se développe autour des villes, notamment Aix-en-Provence, il s'agit d'imbriquer davantage la forêt et les espaces bâtis. L'industrie se maintient même autour de l'étang de Berre, elle progresse dans les secteurs situés dans l'aire d'influence d'ITER.

# PHASE4 : RESULTATS ET DISCUSSION

Figure 35 : Règles associées au scénario écologique



La carte 48 présente un résultat issu de la base de règles associée à ce scénario. Combinée avec le tableau 17, nous observons plusieurs éléments communs avec le scénario densification.

- Ainsi, les surfaces de banlieue doublent quasiment tandis que celles dédiées aux lotissements diminuent légèrement au profit de la banlieue du fait de la densification.
- On remarque également une diminution des espaces agricoles (rural peu dense) plus importante que dans le scénario densification mais cette dernière se fait pour moitié au profit des espaces bâtis et pour l'autre moitié au profit de la forêt qui gagne environ 70km<sup>2</sup>.
- Dans ce scénario, le rural dense augmente peu (+20km<sup>2</sup>), limitant ainsi le phénomène de mitage. Il reflète également le développement du tourisme dans les espaces ruraux.
- Enfin l'industrie progresse très légèrement.

Tableau 17: Comparaison des surfaces en km<sup>2</sup> occupées par les différents modes d'occupation du sol en 2050 selon le scénario écologique

	2010	sim1	sim2	sim3	sim4	sim5	sim6	sim7	sim8	sim9	sim10
<b>Rural peu dense</b>	1606	1451	1451	1450	1450	1450	1452	1452	1454	1451	1451
<b>Banlieue</b>	106	189	189	190	189	191	189	189	189	190	190
<b>Cœur urbain</b>	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
<b>Lotissements, pavillonnaire</b>	138	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109
<b>Pôle rural</b>	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
<b>Rural dense</b>	231	251	252	252	252	251	253	251	251	250	251
<b>Forêt</b>	1721	1798	1798	1796	1797	1797	1794	1796	1795	1797	1797
<b>Grands ensembles</b>	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
<b>Industrie</b>	58	62	61	63	62	62	63	63	62	62	63
<b>Tertiaire</b>	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
<b>Friche</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

# PHASE4 : RESULTATS ET DISCUSSION

Carte 48- Etats d'occupation du sol en 2050 pour une simulation du scenario écologique

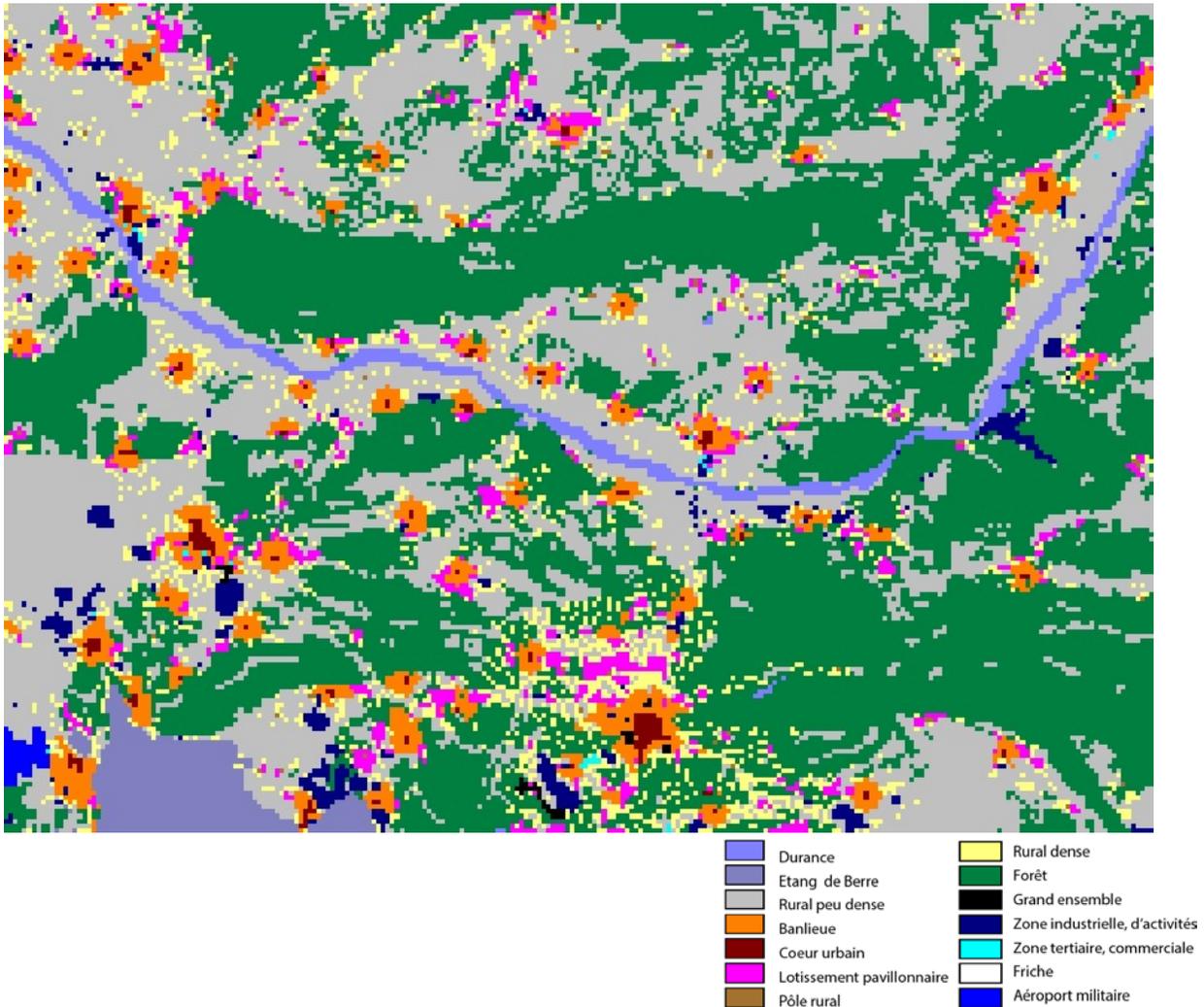


Tableau 18: taux de croissance annuel pour les 10 simulations du scenario écologique

taux de croissance annuel moyen entre 2010 et 2050	
Simulation 1	5,19 ‰
Simulation 2	5,19 ‰
Simulation 3	5,29 ‰
Simulation 4	5,23 ‰
Simulation 5	5,32 ‰
Simulation 6	5,21 ‰
Simulation 7	5,20 ‰
Simulation 8	5,23 ‰
Simulation 9	5,27 ‰
Simulation 10	5,25 ‰
<b>Moyenne</b>	<b>5,22 ‰</b>
<b>Ecart-Type</b>	<b>0,04 ‰</b>

Le taux de croissance annuel moyen est d'environ 5.2‰. Partant d'un nombre moyen de personnes par logement de 2.2, en 2050 la population résidant dans notre zone d'étude serait de 1 039 927 habitants.

# PHASE4 : RESULTATS ET DISCUSSION

La mise en perspective des cartes associées à chaque scénario, des transitions et de l'évolution du poids des différents modes d'occupation du sol entre 2010 et 2050 permet de compléter les analyses associées à chaque scénario.

Les valeurs des figures 36 ont été calculées à partir des maillages cellulaires en début de simulation (2010) et en fin de simulation (2050). Pour chaque couple d'état  $(i, j)$  on compte l'effectif de cellules qui sont passés de l'état  $i$  en 2010 à l'état  $j$  en 2050, on calcule ainsi un tableau carré où l'on trouve dans la case  $(i, j)$  le nombre de cellules  $n_{ij}$  passées de l'état  $i$  à l'état  $j$ . **On ne tient pas compte ici des transitions possibles dans les années intermédiaires.** A partir de ces tableaux croisés, on calcule les pourcentages absolus de transition  $i \rightarrow j$  par  $p_{ij} = n_{ij}/n$  où  $n$  est l'effectif total de cellules utilisées. Nous n'avons comptabilisés que les cellules dont l'état varie dans la simulation (élimination de 1697 cellules d'eau, d'étang et d'aéroport), ce qui donne un effectif de cellules de  $n = 45\ 000 - 1\ 697 = 43\ 303$ .

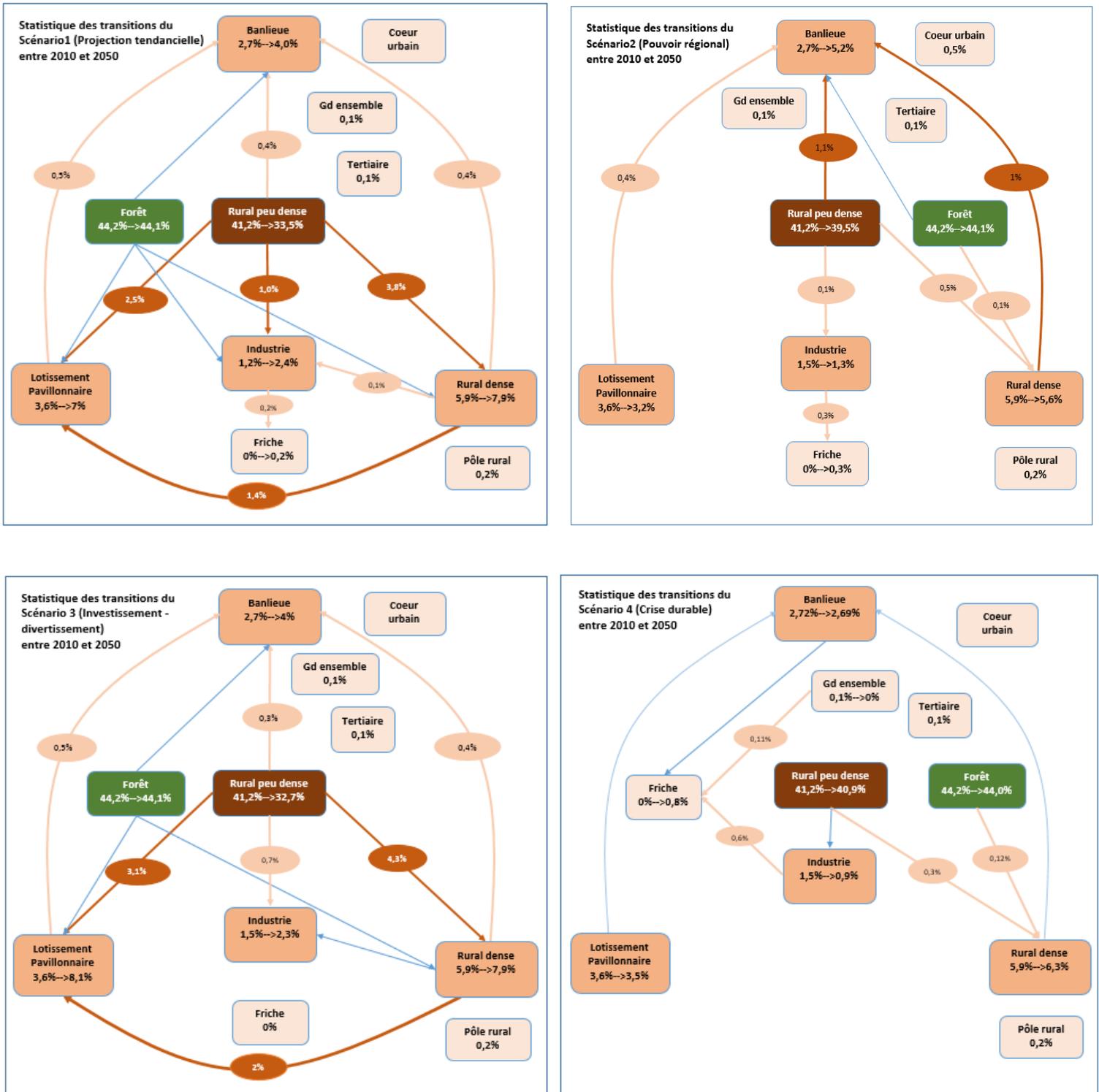
Nous donnons ci-dessous l'exemple de calcul des deux tableaux (effectifs de transitions et leurs pourcentages) pour le scénario tendanciel (les autres tableaux sont présentés en annexe).

Scénario 1 : Projection tendancielle	2050	rural peu dense	banlieue	coeur urbain	pavillonnaire	pole rural	rural dense	foret	grand ensemble	industrie	tertiaire	Friche	
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2010		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
rural peu dense	2	14517	156	0	1079	0	1654	0	0	440	0	0	17846
banlieue	3	0	1180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1180
coeur urbain	4	0	0	238	0	0	0	0	0	0	0	0	238
pavillonnaire	5	0	222	0	1316	0	0	0	0	0	0	0	1538
pole rural	6	0	0	0	0	99	0	0	0	0	0	0	99
rural dense	7	0	163	0	614	0	1732	0	0	53	0	0	2562
foret	8	0	1	0	2	0	33	19083	0	1	0	0	19120
grand ensemble	9	0	0	0	0	0	0	0	47	0	0	0	47
industrie	10	0	0	0	0	0	0	0	0	541	0	100	641
tertiaire	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	0	32
Friche	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		14517	1722	238	3011	99	3419	19083	47	1035	32	100	43303

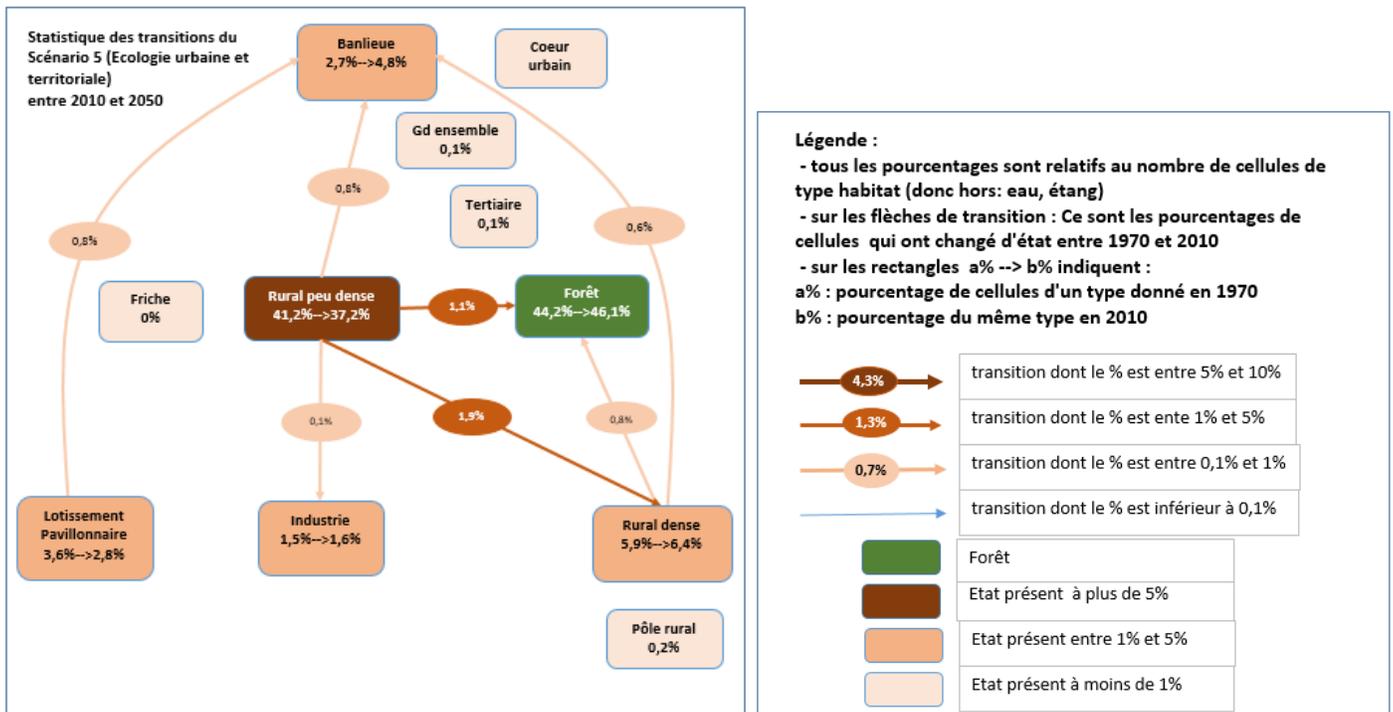
Scénario 1 : Projection tendancielle	2050	rural peu dense	banlieue	coeur urbain	pavillonnaire	pole rural	rural dense	foret	grand ensemble	industrie	tertiaire	Friche
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2010		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
rural peu dense	2	33,5%	0,4%		2,5%		3,8%			1,0%		41,2%
banlieue	3		2,7%									2,7%
coeur urbain	4			0,5%								0,5%
pavillonnaire	5		0,5%		3,0%							3,6%
pole rural	6					0,2%						0,2%
rural dense	7		0,4%		1,4%		4,0%			0,1%		5,9%
foret	8		0,0%		0,0%		0,1%	44,1%		0,0%		44,2%
grand ensemble	9								0,1%			0,1%
industrie	10									1,2%		1,5%
tertiaire	11										0,1%	0,1%
Friche	12											100,0%
		33,5%	4,0%	0,5%	7,0%	0,2%	7,9%	44,1%	0,1%	2,4%	0,1%	0,2%

# PHASE4 : RESULTATS ET DISCUSSION

Figure 36 : comparaison des transitions observées des cinq scénarios au cours d'une simulation



# PHASE4 : RESULTATS ET DISCUSSION



L'analyse des figures 36 combinée avec l'étude des cartes 49 et les estimations de population fait ressortir que le **scénario investissement** est celui qui allie la plus forte consommation de rural peu dense (terres agricoles principalement) et la croissance de population la plus importante. 8.5% du territoire est ainsi urbanisé, principalement sous la forme de rural peu dense (7.9% en 2050), de lotissements pavillonnaires (8.1% en 2050) et de zones d'activités industrielles (2.3% en 2050). Ces dernières se développent en périphérie des centres urbains, le long de la Durance et se maintiennent autour de l'étang de Berre. La banlieue se développe modestement dans des proportions similaires au scénario tendanciel.

Le scénario **tendanciel** consomme un peu moins de terres agricoles (rural peu dense) que le scénario investissement. Cependant, il favorise également les lotissements et le mitage matérialisé par le développement du rural dense (7.9% en 2050). L'industrie se développe dans des proportions équivalentes au scénario investissement, la principale différence tient à son déclin autour de l'étang de Berre (friche 0.2%) et à son développement plus concentré autour de Manosque, de Pertuis et de Cavaillon. La banlieue se développe également modestement (4% en 2050).

Le scénario le moins consommateur d'espace agricole est le scénario de **crise**. Néanmoins, il s'accompagne d'une diminution de la population et de l'apparition de friches qui se développent soit dans des secteurs anciennement marqués par la prédominance des grands ensembles ou d'habitat ancien non rénové localisé principalement en banlieue, soit sur d'anciens espaces industriels (étang de Berre). Le développement des friches touche principalement le triangle compris entre l'étang de Berre, Salon-de-Provence et Aix-en-Provence. Les petits pôles urbains apparaissent relativement

## PHASE4 : RESULTATS ET DISCUSSION

épargnés et connaissent un étalement urbain modéré sous la forme de lotissements ou de rural dense proche des petits centres urbains.

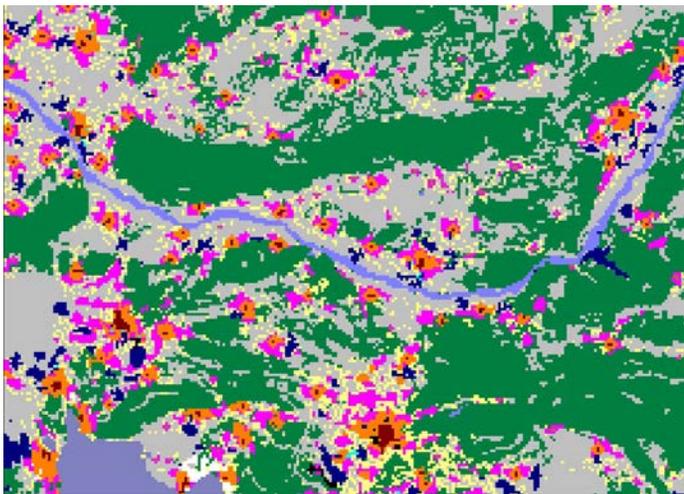
Les scénarios **écologique et densification** (ou pouvoir régional) sont assez proches dans la volonté de contrôler l'étalement urbain en limitant le développement de l'habitat individuel et de densifier les pôles urbains. Le scénario **écologique** donne néanmoins lieu à une consommation de rural peu dense plus grande que le second (156km<sup>2</sup> contre 66km<sup>2</sup>). Ceci tient au maintien des zones d'activités existantes et leur développement dans le secteur d'ITER ainsi qu'à l'essor d'une activité touristique et de loisirs dans les espaces ruraux qui se traduit par une légère progression du rural peu dense. Le développement des bois et forêts (46.1% en 2050) principalement autour d'Aix-en-Provence, explique également la consommation de terres agricoles, il répond à la volonté de verdissement des métropoles.

Le scénario **densification** consomme deux fois moins de rural peu dense. Le poids relatif du rural dense et des lotissements pavillonnaires diminue au profit de la banlieue (5.2% en 2050), dont le développement reflète la volonté de densification des principaux espaces urbains. Les efforts sont particulièrement marqués à Aix-en-Provence, Manosque et Pertuis. Contrairement au scénario écologique, les espaces ruraux ne bénéficient pas d'un développement touristique et tout est fait pour conserver les terres agricoles, la forêt n'évolue quasiment pas. L'industrie connaît des difficultés notables autour de l'étang de Berre tandis qu'elle se développe légèrement autour d'Iter.

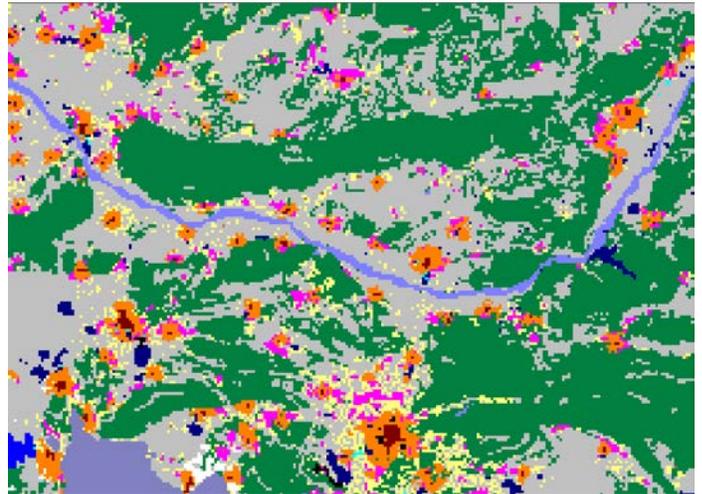
En adéquation avec une volonté de gestion durable des territoires, ces scénarios deux derniers imposent d'importants changements dans les modes de vie des habitants en prônant le développement de logements collectifs, y compris dans les petits pôles urbains. Ils rompent avec la tendance de la période 1970-2010 marquée par le développement du rural dense (constructions individuelles avec de grandes parcelles de terrain) et des lotissements pavillonnaires.

# PHASE4 : RESULTATS ET DISCUSSION

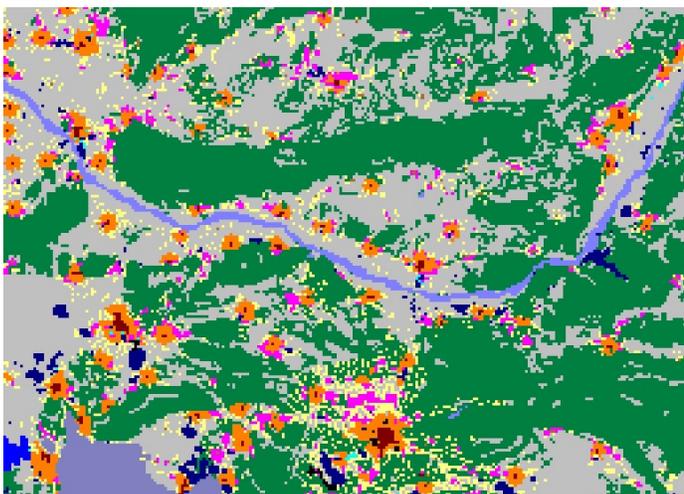
Carte 49-Mise en perspective des évolutions possibles en 2050 du territoire d'étude en fonction des différents scénarios



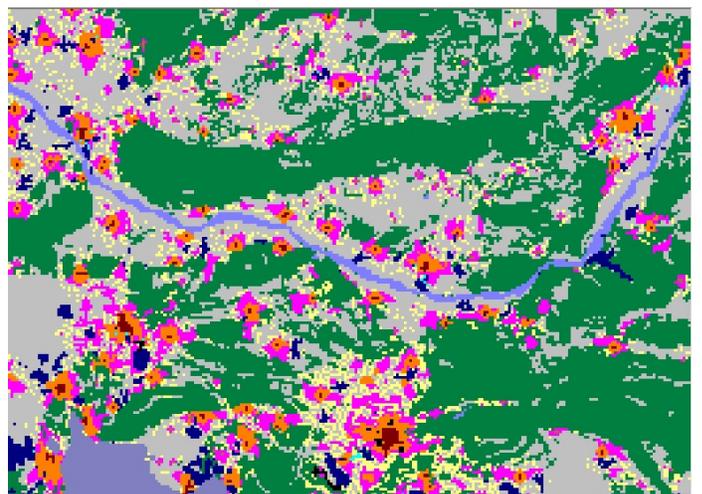
Scénario tendanciel



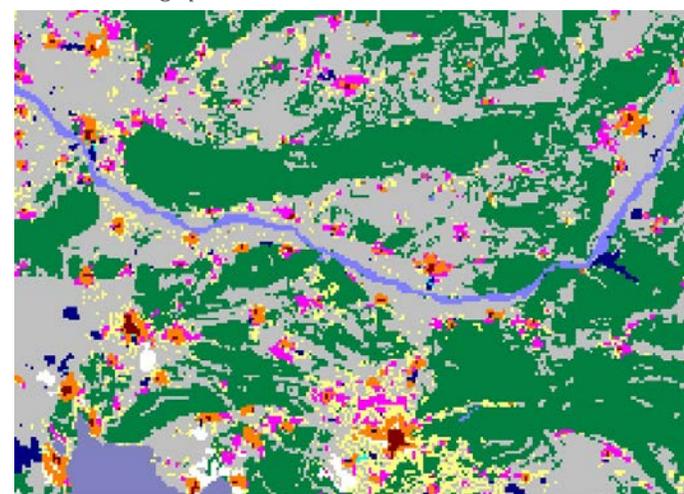
Scénario densification



Scénario écologique

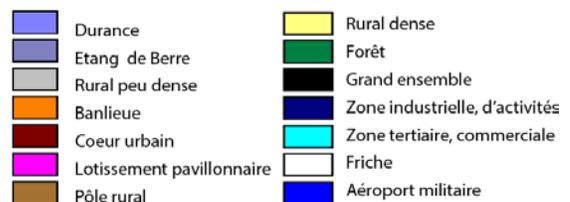


Scénario investissement



Scénario crise

Scénario	population estimée en 2050	Consommation d'espace rural peu dense (en km <sup>2</sup> )
Scé. tendanciel	1 105 160	300
Scé. densification	976 104	66
Scé. investissement	1 135 250	332
Scé. Crise	787 150	13
Scé. écologique	1 039 930	156



## Conclusion

La prospective dans le domaine des sciences humaines est une tâche délicate qui doit s'entourer de beaucoup de précautions. En premier lieu, les résultats obtenus ne sont évidemment pas des prévisions car les processus en jeu dans la réalité sont complexes, multifactoriels et essentiellement aléatoires. Ils sont en général composés d'un socle relativement déterministe associé à des nombreuses composantes aléatoires qui sont inhérents à la fois aux aléas naturels (climatiques, tremblements de terre, etc.) et sociaux (décisions politiques, crises économiques, mouvements sociaux, innovations technologiques, découvertes de ressources naturelles, etc.). Ces aléas peuvent constituer un bruit de fond autour des axes déterministes de ces processus mais peuvent aussi produire des cassures dans leur trajectoire (catastrophes). Aussi nous ne pouvons envisager dans la simulation prospective que des modélisations basées sur une absence de catastrophe, c'est-à-dire basées sur une certaine continuité de la dynamique des trajectoires (dans leur espace d'états). De plus, pour mieux appréhender le caractère non déterministe des processus en jeu, qui implique que l'avenir des possibles est multiple, nous procédons à plusieurs scénarios, et pour chaque scénario à une dizaine de simulations, pour montrer que non seulement les règles du modèle induisent des processus partiellement stochastiques, mais que la définition même des règles est sujette à évoluer avec le temps, c'est-à-dire qu'à chaque instant et en chaque lieu s'ouvre un éventail de possibles, l'histoire ne gardant qu'un seul chemin, choisi par l'avancée du présent à travers l'espace-temps.

La simulation prospective par automate cellulaire telle que nous l'avons utilisée avec SpaCelle permet d'éviter des projections à la fois trop simplistes et difficilement explicables par prolongation de courbes de tendance. Le type de simulation que nous avons utilisé, permet de garder une complexité à la modélisation tout en restant accessible à la compréhension des acteurs et traduisant directement celle-ci. Ceci est possible en se basant sur un corps de règles qui a été validé et sur lequel on applique diverses hypothèses d'évolution réunies dans un scénario. Chaque scénario présenté est explicite et se traduit presque directement à travers des règles qui s'ajoutent, se retranchent ou infléchissent des règles existantes, définies dans la rétrosimulation. Chaque scénario donne donc naissance à un ensemble de simulations (car il y a un peu de stochasticité), dont les résultats sont néanmoins statistiquement très stables. Les simulations spatiales à base de règles explicites telles que nous les avons pratiquées pour cette analyse prospective, est un outil performant de réflexion permettant de faire des hypothèses explicites d'évolution et de voir comment elles s'inscrivent à la fois dans l'espace et le temps.

Nous avons traité ici essentiellement l'occupation du sol concernant l'habitat pour en déduire l'évolution du peuplement, à partir d'hypothèses simples qui peuvent facilement être modifiées pour adapter les résultats, comme le nombre moyen de personnes par logement, le nombre de logements par cellule selon le type d'habitat.

## PHASE4 : RESULTATS ET DISCUSSION

Par contre, nous n'avons pas voulu faire de prospective sur l'évolution de l'agriculture car ce domaine nous est apparu très difficile à modéliser, par manque de règles claires sur les dynamiques d'évolution des types de culture, de plus ce champ est très sensible à des externalités politique et économiques qui peuvent bouleverser rapidement les pratiques culturelles (comme la PAC ou la situation économique mondiale et nationale) et semble plus fonctionner par ruptures de continuité (qui sont par essence imprévisibles) que par des processus d'évolution continue.

L'objectif principal de cette recherche qui s'est concentré sur les dynamiques spatiales de l'occupation humaine à l'horizon 2050, dans le territoire autour du triangle Aix en Provence – Manosque et Cavaillon est donc assez largement rempli et a permis de produire un ensemble de simulations explicites avec des règles explicatives associées à différents scénarios définis dans le programme R2D2. Le fait de définir la dynamique par des règles presque directement explicatives permet d'apporter une compréhension des différents processus qui ont structuré l'espace, et qui le structureront vraisemblablement jusqu'à l'horizon 2050.

## Table des matières

Introduction	2
le projet et les partenaires	2
résumé	2
une démarche de prospective pour une gestion durable de la ressource en eau	3
Méthodologie	5
Un processus de travail en 4 phases.	5
PHASE 1 : Analyse, connaissances et appréhensions des dynamiques spatiales d'occupation des sols observées dans le passé	5
PHASE 2 : Modélisation rétrospective	5
PHASE 3 : élaboration de scénarios possibles d'évolution du territoire	6
PHASE 4 : simulation des changements d'occupation des sols à l'horizon 2050	7
Un outil de simulation : la plateforme de modélisation par automate cellulaire SpaCelle	8
Présentation	8
Le choix de la métrique et la notion de voisinage dans SpaCelle	9
Les structures d'univers	9
La définition du comportement cellulaire sous SpaCelle	10
Structure générale d'un modèle	10
Le comportement cellulaire, naissance, vie et mort, loi de la règle la plus pertinente	11
Fonctionnement déterministe ou stochastique	12
Ecriture des règles	12
Calcul de la pertinence d'une règle de transition	13
Evaluation stricte ou floue d'un voisinage	14

# ANNEXES

La base de règles _____	15
Le méta-modèle SpaCelle _____	15
Les sorties _____	15
Phase 1 : analyse, connaissance et appréhension des dynamiques spatiales d'occupation des sols observées dans le passé _____	17
Reliefs et paysages _____	18
Un développement local en partie lié a décisions nationales _____	22
La région de Manosque, Saint-Paul-lès-Durance : Un dynamisme lié à l'installation du Commissariat à l'Energie Atomique (CEA) sur le domaine de Cadarache. _____	23
L'étang de Berre : un développement industriel et urbain lié à la volonté de faire de Marseille une métropole d'équilibre. _____	25
Un dynamisme démographique puissant, une région de plus en plus urbaine _____	28
Une région rurale en 1968 _____	28
Un dynamisme démographique puissant, un visage avant tout urbain en 2010. _____	32
Economie présentielle/Economie productive _____	38
La sphère présentielle _____	38
La sphère productive _____	41
Le logement _____	43
L'omniprésence de la maison individuelle _____	45
De plus en plus de résidences principales _____	46
Quelle consommation de l'espace ? _____	47
Conclusion _____	54
Phase 2 : conception et réalisation d'un modèle dynamique par automate cellulaire, pour effectuer une rétrosimulation de l'occupation du sol du domaine compris entre Manosque, Aix-en-Provence et Cavaillon _____	56
Description du modèle _____	56
Construction des couches et des états associés dans le modèle. _____	58
1- Agriculture (couche surfacique) _____	58
2- Occupation du sol (couche surfacique) _____	60
3- Infrastructures de transport (couches linéaires et ponctuelles) _____	62
4- Pentés et exposition (couche surfacique) _____	63

# ANNEXES

5- Aires d'influence spécifiques (couches surfaciques) _____	64
6- Contraintes politiques et environnementales _____	64
Présentation des règles du modèle de rétrosimulation _____	65
Développement autour des pôles ruraux _____	68
Développement des principaux pôles urbains _____	69
Développement autour des petits et moyens centres urbains _____	71
Règles concernant les pôles urbains indépendamment de la taille de leur centre urbain _____	72
<hr/>	
Développement spécifique autour de l'étang de Berre. _____	73
Développement spécifique autour du CEA _____	74
Développement spécifique dans l'aire d'influence de Marseille _____	75
Développement autour des échangeurs _____	75
Développement de l'industrie dans des secteurs autres que l'étang de Berre _____	75
Evolution de la forêt _____	76
Règles de cohérence spatiale _____	76
Règles de vie _____	76
Validation de la base de règles _____	78
Conclusion _____	81
Phase 3 : Elaboration de scénarios possibles d'évolution du territoire _____	82
Scénario 1 : Projection tendancielle _____	83
Mode d'urbanisation et type d'habitat _____	83
Agriculture _____	84
Scénario 2 : Pouvoir régional _____	84
L'orientation politique régionale _____	84
La démographie régionale _____	85
L'agriculture _____	86
Scénario 3 : Investissement - Divertissement _____	88
L'orientation politique régionale _____	88
La démographie régionale _____	89
L'agriculture _____	90

# ANNEXES

Scénario 4 : Crise durable _____	91
L'orientation politique régionale _____	91
La démographie régionale _____	92
L'agriculture _____	93
Scénario 5 : Ecologie urbaine et territoriale _____	96
L'orientation politique régionale _____	96
La démographie régionale _____	96
L'agriculture _____	97
Elements des scenarios retenus pour la construction des différents modèles _____	102
Scenario 1: Tendancier _____	102
Scenario 2: Densification _____	102
Scenario 3: Investissement _____	103
Scenario 4: Crise _____	103
Scenario 5: Ecologique _____	104
Phase 4 : simulation des changements d'occupation humaine et physique des sols à l'horizon 2050 et évaluation de la population présente. _____	105
Methode de calcul de la population à partir des cartes issues des simulations _____	105
Résultats des simulations associées aux différents scénarios et estimation de la croissance de population à l'horizon 2050 _____	109
Scénario1 : Tendancier _____	109
Scénario2 : Densification (pouvoir régional) _____	112
Scénario 3 : Investissement _____	115
Scénario 4 : Crise _____	117
Scénario5 : Ecologique _____	119
Conclusion _____	127
Table des matières _____	129
Bibliographie _____	134
Annexe 1 _____	135
Annexe 2 _____	136
Annexe 3 _____	137

# ANNEXES

Annexe 4 _____	142
Annexe 5 _____	147
Informations sur les équipes de recherche ayant participé au programme de recherche	150

## Bibliographie

Barbier et Al. La Provence. Coll Découvrir la France dirigée par Brunet R, Larousse. 1974

Casanova Laure. Les dynamiques du foncier à bâtir comme marqueurs du devenir des territoires de Provence intérieure, littorale et préalpine. Éléments de prospective spatiale pour l'action territoriale. Thèse, Université d'Avignon, 30 Novembre 2010, 441 p. 2010

DDE de Vaucluse – DDAF de Vaucluse/Blézat consulting. Guide méthodologique : Intégration d'un projet agricole dans un Plan Local d'Urbanisme. 2008

Dubos-Paillard E, Langlois P, Guermond Y. Analyse de l'évolution urbaine par automate cellulaire : le modèle Spa-Celle. *Espace géographique*. 2003;vol. 32, n° 4, pp. 357-378.

DUBOS-PAILLARD E, LANGLOIS P, De l'ontologie du domaine de la croissance urbaine à celle d'un modèle dynamique de croissance urbaine sous SpaCelle, in Phan D. (dir) *Ontologies et modélisation par SMA en SHS*, Hermes-Lavoisier, Londres-Paris, 2014.

Durbiano C., *Le Comtat et ses marges, crises et mutations d'une région agricole méditerranéenne*. Publication de l'université de Provence. 1997

Ecole Nationale Supérieure du Paysage - Région PACA , Communauté de communes du pays des Sorgues et des monts du Vaucluse : Du jardin béni des dieux au jardin communautaire. 2009. Disponible en ligne : [http://pas.regionpaca.fr/fileadmin/PAS/Ateliers\\_pedagogiques\\_regionaux/APR%20\\_Pays%20des%20Sorgues%20et%20Monts%20du%20Vaucluse%202008\\_2009.pdf](http://pas.regionpaca.fr/fileadmin/PAS/Ateliers_pedagogiques_regionaux/APR%20_Pays%20des%20Sorgues%20et%20Monts%20du%20Vaucluse%202008_2009.pdf)

Guermond Y., Delahaye D., Dubos-Paillard E, Langlois P. , From modelling to experiment, *GeoJournal*, vol. 59, iss. 3, pp. 171-176, Kluwer Academic Publishers. 2004

Hagen-Zanker A. An improved Fuzzy Kappa statistic that accounts for spatial autocorrelation. *International Journal of Geographical Information Science*. 2009;23(1).

Langlois P. *Simulation des systèmes complexes en géographie : Fondements théoriques et applications*. Hermes Science Publications. 2010

Langlois P. *Simulation of Complex Systems in GIS*. Wiley-ISTE. 2013

Livet R. *Provence Côte d'Azur et Corse. Atlas et géographie de la France moderne*. Flammarion. 1978

Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement. *Evaluation préliminaire des risques d'inondation sur le bassin Rhône-Méditerranée*, 2011. Disponible en ligne : [http://www.rhone-mediterranee.eaufrance.fr/docs/dir-inondations/epri/9\\_EPRI\\_UPDurance.pdf](http://www.rhone-mediterranee.eaufrance.fr/docs/dir-inondations/epri/9_EPRI_UPDurance.pdf)

Morel B. *Marseille, naissance d'une métropole*. L'Harmattan. 2000

Raymond H. *L'habitat Pavillonnaire*: Editions L'Harmattan, 2001.

Van Vliet J, Bregt AK, Hagen-Zanker A. Revisiting Kappa to account for change in the accuracy assessment of land-use change models. *Ecological Modelling*. 2011;222(8):1367-75.

Van Vliet J, Hagen-Zanker A, Hurkens J, van Delden H. A fuzzy set approach to assess the predictive accuracy of land use simulations. *Ecological Modelling*. 2013;261-262(0):32-42.

# ANNEXES

Sauquet et al., R<sup>2</sup>D<sup>2</sup>2050 : Risque, Ressource en eau et gestion Durable de la Durance en 2050. Rapport final de fin de projet du programme GICC 2010. 2014.

Tillier S. Gérer durablement la forêt méditerranéenne : exemple du parc naturel régional des Alpilles. Thèse de doctorat. 2011

## ANNEXE 1

### Récapitulatif des règles pour la retro-simulation (1970-2010)

	Retrosimulation
1	rud>pav=EV(rte;3)*ZV(Eau;3)*ZV(Ind;1)*EV(pav;1)*ap(ban;6)*Nv(pav;9;0;15)*ev(etg;35)*EP(1975;100)
2	RPD>pav=EV(rte;3)*ZV(Eau;3)*ZV(Ind;1)*EV(pav;1)*ap(ban;6)*Nv(pav;9;0;15)*EP(1975;100)
3	rud>pav=Nv(ban;7;20;100)*al(100)*EP(1975;100)
4	RPD>ban=ZV(Pen;0)*AV(Vig+Pra;1)*ZV(Eau;3)*ZV(Ind;1)*EV(Rte;4)*ev(etg;30)*nv(ban;2;3;15)*nv(ban;7;1;20)*ev(cu;5)
5	rud>ban=ZV(Pen;0)*AV(Vig+Pra;1)*ZV(Eau;3)*ZV(Ind;1)*EV(Rte;4)*ev(etg;35)*Nv(ban;2;1;15)*nv(ban;7;1;20)*ev(cu;5)
6	RPD>RUD=EV(rte;3)*nV(CU;15;2;4)*ZV(Eau;3)*ZV(Ind;1)*nV(rud;5;0;2)*AL(50)*nV(rud;5;0;2)
7	RPD>RUD=EV(rte;3)*nV(CU;15;2;4)*ZV(Eau;3)*ZV(Ind;1)*EV(rud;1)*nV(rud;5;0;2)*AL(50)
8	Rpd>pav=pV(CU;5)*ZV(PAV;5)*EV(CEA;0)*AV(Vig+Pra;1)*ZV(Eau;5)*ZV(Ind;1)
9	Rpd>pav=EV(Cea;0)*nV(Pav;2;2)*NV(pav;10;1;15)*AV(Vig+Pra;1)*ZV(Eau;5)*ZV(Ind;1)*Ev(Cu;6)
10	Rpd>RUD=AP(PRU+Ban;5)*ZV(Pen;0)*AV(Vig+Pra;1)*ZV(Eau;3)*ZV(Ind;1)*EV(Rte;3)*NV(Rud;3;0;4)
11	Rpd>Rud=EV(Ech1;6)*AP(Rud+Ban+Pav+CU+Pru;6)*AL(4000)*ZV(Eau;3)*NV(Rud+pav;2;0;4)
12	rud>Pav=Nv(BAN+CU+pru+Pav;1;4;8)
13	RPD>Pav=Nv(BAN+CU+pru+Pav;1;4;8)
14	Rud>Pav=Nv(Pav+ban;10;0;30)*EV(Pav;1)*AV(Pen;1)*AV(Vig+Pra;1)*ZV(Eau;3)*ZV(Ind;1)*NV(ban;1;0;4)*PV(CU;20)*ZV(pru;4)*NV(CU+Ban;15;5;100)
15	RPD>Pav=AV(Pen;1)*AV(Vig+Pra;1)*ZV(Eau;3)*PV(CU+Ban+Rud;2;0;4;1)*ZV(Pav;5)*ZV(Ind;1)*AL(4000)*NV(Pav+ban;8;0;30)
16	Rud>Pav=PV(Rud+Pav+ban;3;0;7;1)*ZV(Pav;5)*AV(Vig+Pra;1)*ZV(eau;3)*ZV(ind;2)*AL(4000)
17	RPD>Pav=Nv(CU;3;1;3)*NV(Pav;8;0;20)*EV(Pav+Cu+Ban;1)*EV(RTE;3)*ZV(Eau;3)*ZV(Ind;1)*AL(6000)*AV(Vig+Pra;1)
18	Rud>Pav=EV(Pru;1)*AP(Pru+Ban;1)*ZV(Ind;1)*AV(Pen;1)*AV(Vig+Pra;1)*ZV(Eau;3)
19	RPD>Pav=AL(3000)*EV(Pru;2)*AP(Pru+Ban;1)*ZV(Ind;1)*ZV(Eau;3)*AV(Vig+Pra;1)*NV(Pav+ban;8;0;30)
20	RPD>Pav=Nv(CU;20;25;100)*EV(pav;1)*nv(pav;5;1;15)
21	Ban>CU=Nv(CU;1;4;8)*ZV(Ind;1)*AV(Pen;1)*AV(Vig+Pra;1)*ZV(Eau;3)
22	Rud>CU=Nv(CU;1;3;8)
23	RPD>Ban=PV(CU;2)*PV(Pav+GE+ban+CU+PRU+Rud;2)*NV(Cu;5;1;5)*AP(Pav+GE+ban+CU+PRU+Rud;2)
24	Rud>Ban=PV(CU;2)*PV(Pav+GE+ban+CU+PRU+Rud;2)*NV(Cu;5;1;5)*AP(Pav+GE+ban+CU+PRU+Rud;2)
25	pav>Ban=PV(CU;2)*PV(Pav+GE+ban+CU+PRU+Rud;2)*NV(Cu;5;1;5)*AP(Pav+GE+ban+CU+PRU+Rud;2)
26	Rud>Ban=Nv(CU;7;10;50)*EV(ban+GE;1)*EV(rte;1)*ZV(Fo;1)*NV(ban;4;10;25)
27	RPD>Ban=Nv(CU;7;10;50)*EV(ban+GE;1)*EV(rte;1)*ZV(Fo;1)*NV(ban;4;10;25)
28	Pav>ban=Nv(BAN+CU+pru;1;4;8)
29	rud>ban=Nv(BAN+CU+pru;1;4;8)
30	RPD>ban=Nv(BAN+CU+pru;1;4;8)
31	RPD>Ind=EV(Ind;1)*NV(Ind;6;1;6)*ZV(Etg;10)*ZV(CU+Ban+PRU+Pav;1)*AL(2000)*ZV(pen;2)
32	RPD>Ind=PV(Etg;5)*PV(Ind;3;0;1;0;4)*AV(Pru+CU+Ban+Pav;2)*AV(Fo;1)*ZV(pen;2)
33	RPD>Ind= NV(ind;1;3;8)*NV(Ind;6;1;10)*ZV(Etg;10)*ZV(CU+Ban+PRU+Pav;1)*AL(2000)*ZV(pen;2)*ZV(eau;2)
34	Rud>Ind=EV(Ind;1)*NV(Ind;6;1;6)*ZV(Etg;10)*ZV(CU+Ban+PRU+Pav;1)*AL(2000)*ZV(pen;2)*ZV(eau;2)
35	RPD>RUD=AP(CU+Ban+Pav;8)*AV(Pen;2)*AV(Vig+Pra;1)*ZV(Eau;3)*EV(Mar;2)*ZV(Ind;1)*PV(RUD+Ban+CU+PAV+GE;2;0;1;0;4)
36	Fo>Rud=AL(1000)*ZV(Pen;0)*EV(Ech1;6)*PV(Rud+Ban+Cu+Pru;2;0;3;1)*EV(Mar;2)
37	Fo>Rud=ZV(Pen;0)*EV(Rte;1)*PV(Rud+Ban+Cu+Pru+PAV+GE;2;0;2;1)*PV(Fo;2;0;4;1)

## ANNEXE 2

Modèle de rétrosimulation : fréquences d'utilisation des règles pour 10 simulations

		sim1	sim2	sim3	sim4	sim5	sim6	sim7	sim8	sim9	sim10	moy	max	min	ET
2	RPD>Pav	321	289	321	302	0	309	313	279	289	133	255,6	321	0	105,4
4	RPD>Ban	86	95	88	79	81	79	79	90	82	85	84,4	95	79	5,42
6	RPD>RuD	55	50	62	62	58	53	48	48	39	34	50,9	62	34	9,207
7	RPD>RuD	3	2	1	3	0	2	1	4	1	3	2	4	0	1,247
8	RPD>Pav	23	18	21	12	20	20	17	18	21	19	18,9	23	12	2,998
9	RPD>Pav	75	91	86	81	85	84	69	72	83	56	78,2	91	56	10,34
10	RPD>RuD	1424	1698	1659	1663	1707	1255	1245	1260	1234	1302	1444,7	1707	1234	211,3
11	RPD>RuD	273	232	212	246	248	218	216	216	215	151	222,7	273	151	32,02
13	RPD>Pav	10	14	16	18	11	14	13	11	10	1146	126,3	1146	10	358,3
15	RPD>Pav	83	86	79	92	78	81	77	83	76	25	76	92	25	18,54
17	RPD>Pav	252	323	314	327	350	224	255	266	265	296	287,2	350	224	40,58
19	RPD>Pav	72	67	74	83	88	60	63	43	51	57	65,8	88	43	13,96
20	RPD>Pav	99	115	103	126	107	130	106	126	122	278	131,2	278	99	52,71
23	RPD>Ban	184	158	141	155	167	140	121	139	131	161	149,7	184	121	18,73
27	RPD>Ban	17	25	11	14	12	8	9	9	8	108	22,1	108	8	30,63
30	RPD>Ban	0	1	2	1	1	0	2	0	2	95	10,4	95	0	29,74
31	RPD>Ind	120	118	112	117	107	111	101	125	110	97	111,8	125	97	8,626
32	RPD>Ind	30	19	30	33	37	31	33	22	18	49	30,2	49	18	9,175
33	RPD>Ind	4	4	4	3	3	1	5	0	1	59	8,4	59	0	17,85
35	RPD>RuD	116	101	108	99	99	94	101	75	79	97	96,9	116	75	12,2
21	Ban>CU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	3,5	35	0	11,07
25	Pav>Ban	80	107	104	114	81	71	81	87	81	132	93,8	132	71	19,42
28	Pav>Ban	27	19	18	29	22	18	10	16	21	776	95,6	776	10	239,1
1	RuD>Pav	87	81	70	70	0	69	84	86	64	20	63,1	87	0	29,48
3	RuD>Pav	31	24	25	25	0	24	21	19	28	37	23,4	37	0	9,675
5	RuD>Ban	83	76	91	82	86	97	89	88	87	46	82,5	97	46	13,99
12	RuD>Pav	51	44	45	60	32	51	37	39	46	832	123,7	832	32	249
14	RuD>Pav	452	466	432	441	454	365	373	337	338	80	373,8	466	80	114,5
16	RuD>Pav	12	15	14	13	8	13	7	9	16	4	11,1	16	4	3,9
18	RuD>Pav	91	82	79	76	79	75	81	74	78	80	79,5	91	74	4,79
22	RuD>CU	1	1	0	1	1	0	0	1	0	14	1,9	14	0	4,28
24	RuD>Ban	222	219	235	202	231	213	226	206	215	96	206,5	235	96	40,19
26	RuD>Ban	43	58	56	57	57	41	43	44	45	99	54,3	99	41	17,17
29	RuD>Ban	8	13	11	9	10	9	6	6	7	116	19,5	116	6	33,98
34	RuD>Ind	22	13	18	18	25	21	22	12	18	11	18	25	11	4,714
36	FO>RuD	32	28	35	35	32	33	29	28	27	42	32,1	42	27	4,533
37	FO>RuD	96	130	119	123	117	88	88	87	90	157	109,5	157	87	23,57

## ANNEXE 3

Bases de règles utilisées pour les différents scénarios :

- quand la police est noire, la règle est reprise du modèle de rétro-simulation,
- quand la police est verte, il s'agit d'une nouvelle règle,
- quand il n'y a pas texte associé au numéro de règle, cette dernière a été retirée du modèle,
- quand la police est violette, nous pointons les modifications apportées à une règle issue du modèle de rétro-simulation.

### Base de règles pour le scenario tendanciel.

N° de règle	Scénario 1 tendanciel
1	RPD>Pav=EV(Rte;3)*ZV(Eau;3)*ZV(Ind;1)*EV(Pav;1)*AP(Ban;6)*NV(Pav;9;0;15)*EV(etg;35)
2	RuD>Pav=EV(Rte;3)*ZV(Eau;3)*ZV(Ind;1)*EV(Pav;1)*AP(Ban;6)*NV(Pav;9;0;15)
3	RuD>Pav=NV(Ban;7;20;100)*al(100)
4	RPD>Ban=ZV(Pen;0)*ZV(Eau;3)*ZV(Ind;1)*EV(Rte;4)*EV(etg;30)*NV(Ban;2;3;15)*NV(Ban;7;1;20)*EV(CU;5)
5	RuD>Ban=ZV(Pen;0)*ZV(Ind;1)*EV(Rte;4)*EV(etg;35)*NV(Ban;2;1;15)*NV(Ban;7;1;20)*EV(CU;5)
6	RPD>RUD=EV(rte;3)*nV(CU;15;2;4)*ZV(Ind;1)*nV(rud;5;0;2)*AL(50)*nV(rud;5;0;2)
7	RPD>RuD=EV(Rte;3)*NV(CU;15;2;4)*ZV(Eau;3)*ZV(Ind;1)*NV(RuD;5;0;2)*EV(RuD;1)*AL(50)
8	RPD>Pav=EV(CU;8)*ZV(Pav;5)*EV(CEA;0)*ZV(Eau;5)*ZV(Ind;1)
9	RPD>Pav=EV(Cea;0)*EV(Pav;1)*NV(Pav;10;1;22)*ZV(Eau;5)*ZV(Ind;1)*EV(CU;10)
10	RPD>RuD=AP(PRu+Ban;7)*ZV(Pen;0)*ZV(Eau;3)*ZV(Ind;1)*EV(Rte;3)*NV(RuD;3;0;4)
11	RPD>RuD=EV(Ech1;6)*AP(RuD+Ban+Pav+CU+PRu;6)*AL(4000)*ZV(Eau;3)*NV(RuD+Pav;2;0;4)
12	RuD>Pav=NV(Ban+CU+PRu+Pav;1;3;8)
13	RPD>Pav=NV(Ban+CU+PRu+Pav;1;3;8)
14	RuD>Pav=NV(Pav;10;0;30)*EV(Pav;1)*AV(Pen;1)*ZV(Eau;3)*ZV(Ind;1)*NV(Ban;1;0;4)*PV(CU;20)*ZV(PRu;4)*NV(CU+Ban;15;5;100)
15	RPD>Pav=AV(Pen;1)*ZV(Eau;3)*PV(CU+Ban+RuD;2;0;4;1)*ZV(Pav;5)*ZV(Ind;1)*AL(4000)*NV(Pav+Ban;8;0;30)
16	RuD>Pav=PV(RuD+Pav+Ban;3;0;7;1)*ZV(Pav;5)*ZV(eau;3)*ZV(ind;2)*AL(4000)
17	RPD>Pav=NV(CU;3;1;3)*NV(Pav;8;0;20)*EV(Pav+CU+Ban;1)*EV(Rte;3)*ZV(Eau;3)*ZV(Ind;1)*AL(6000)
18	RuD>Pav=EV(PRu;1)*AP(PRu+Ban;1)*ZV(Ind;1)*AV(Pen;1)*ZV(Eau;3)
19	RPD>Pav=AL(3000)*EV(PRu;2)*AP(PRu+Ban;1)*ZV(Ind;1)*ZV(Eau;3)*NV(Pav+Ban;8;0;30)
20	RPD>Pav=NV(CU;20;25;100)*EV(Pav;1)*NV(Pav;5;1;15)
22	RuD>CU=NV(CU;1;3;8)
23	RPD>Ban=PV(CU;2)*PV(Pav+GE+Ban+CU+PRu+RuD;2)*NV(CU;5;1;5)*AP(Pav+GE+Ban+CU+PRu+RuD;2)
24	RuD>Ban=PV(CU;2)*PV(Pav+GE+Ban+CU+PRu+RuD;2)*NV(CU;5;1;5)*AP(Pav+GE+Ban+CU+PRu+RuD;2)
25	Pav>Ban=PV(CU;2)*PV(Pav+GE+Ban+CU+PRu+RuD;2)*NV(CU;5;1;5)*AP(Pav+GE+Ban+CU+PRu+RuD;2)
26	RuD>Ban=NV(CU;7;10;50)*EV(Ban+GE;1)*EV(Rte;1)*ZV(Fo;1)*NV(Ban;4;10;25)
27	RPD>Ban=NV(CU;7;10;50)*EV(Ban+GE;1)*EV(Rte;1)*ZV(Fo;1)*NV(Ban;4;10;25)
28	Pav>Ban=NV(Ban+CU+PRu;1;4;8)
29	RuD>Ban=NV(Ban+CU+PRu;1;4;8)
30	RPD>Ban=NV(Ban+CU+PRu;1;4;8)
31	RPD>Ind=EV(Ind;1)*NV(Ind;6;1;18)*ZV(Etg;10)*ZV(CU+Ban+PRu+Pav;1)*AL(2000)*ZV(pen;2)*EV(Ban;8)
32	
33	RuD>Ind=EV(Ind;1)*NV(Ind;6;1;18)*ZV(Etg;10)*ZV(CU+Ban+PRu+Pav;1)*AL(2000)*ZV(pen;2)*ZV(eau;2)*EV(Ban;8)
34	
35	RPD>RuD=AP(CU+Ban+Pav;8)*AV(Pen;2)*ZV(Eau;3)*EV(Mar;2)*ZV(Ind;1)*PV(RuD+Ban+CU+Pav+GE;2;0;1;0;4)
36	Fo>RuD=AL(1000)*ZV(Pen;0)*EV(Ech1;6)*PV(RuD+Ban+CU+PRu;2;0;3;1)*EV(Mar;2)
37	
38	RuD>Pav=EV(Cea;0)*EV(Pav;1)*NV(Pav;10;1;15)*ZV(Eau;5)*ZV(Ind;1)*EV(CU;8)
39	Ind>Fri=PV(Etg;9)
40	RPD>Ind=EV(Cea;0)*EV(Ind;1)*NV(Ind;6;1;20)*ZV(Etg;10)*ZV(CU+Ban+PRu+Pav;1)*AL(2000)*ZV(pen;2)*NV(CU;12;3;6)
41	RPD>Ind=NV(Ban+CU;10;20;60)*EV(Rte;3)*ZV(eau;2)*ZV(Ind;6)*ZV(Pav+Ban;1)*PV(RuD+RPD;2;0;3;1)*ZV(Pen;2)*EV(Cea;0)
42	RPD>Ind=NV(Ban+CU;10;20;60)*EV(Rte;3)*ZV(eau;2)*ZV(Ind;3)*EV(Ech1+gga;5)*ZV(Pav+Ban;2)*PV(RuD+RPD;3;0;3;1)*ZV(Pen;2)*EV(Cea;0)
43	Rpd>Ind=NV(ind;1;3;8)*NV(Ind;6;1;18)*ZV(Etg;10)*ZV(CU+Ban+PRu+Pav;1)*AL(2000)*ZV(pen;2)*ZV(eau;2)*EV(Ban;8)

# ANNEXES

## Base de règles pour le scenario de densification (pouvoir régional).

N° de règle	Scénario 2 densification
1	
2	
3	
4	RPD>Ban=ZV(Pen;0)*ZV(Eau;3)*ZV(Ind;1)*EV(Rte;4)*EV(etg;30)*NV(Ban;2;3;15)*NV(Ban;7;1;20)*EV(CU;5)*AV(Cer+Oli+Sem+Vig+Pra;1)
5	RuD>Ban=ZV(Pen;0)*AV(Vig+Pra;1)*ZV(Eau;3)*ZV(Ind;1)*EV(Rte;4)*EV(etg;35)*NV(Ban;2;1;15)*NV(Ban;7;1;20)*EV(CU;5)*AV(Cer+Oli+Sem+Vig+Pra;1)
6	
7	
8	
9	
10	
11	RPD>RuD=EV(Ech1;6)*AP(RuD+Ban+Pav+CU+PRu;6)*AL(2000)*ZV(Eau;3)*NV(RuD+Pav;2;0;4)
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	RPD>Ban=PV(CU;3)*PV(Pav+GE+Ban+CU+PRu+RuD;2)*NV(CU;5;1;5)*AP(Pav+GE+Ban+CU+PRu+RuD;2)*AV(Cer+Oli+Sem+Vig+Pra;1)
24	RuD>Ban=PV(CU;3)*PV(Pav+GE+Ban+CU+PRu+RuD;2)*NV(CU;5;1;5)*AP(Pav+GE+Ban+CU+PRu+RuD;2)*AV(Cer+Oli+Sem+Vig+Pra;1)
25	
26	RuD>Ban=NV(CU;7;10;50)*EV(Ban+GE;1)*EV(Rte;2)*ZV(Fo;1)*NV(Ban;4;10;40)*AV(Cer+Oli+Sem+Vig+Pra;1)
27	RPD>Ban=NV(CU;7;10;50)*EV(Ban+GE;1)*EV(Rte;2)*ZV(Fo;1)*NV(Ban;4;10;40)*AV(Cer+Oli+Sem+Vig+Pra;1)
28	Pav>Ban=NV(Ban+CU+PRu;1;4;8)
29	RuD>Ban=NV(Ban+CU+PRu;1;4;8)*AV(Cer+Oli+Sem+Vig+Pra;1)
30	RPD>Ban=NV(Ban+CU+PRu;1;4;8)*AV(Cer+Oli+Sem+Vig+Pra;1)
31	
32	
33	
34	
35	RPD>RuD=AP(CU+Ban+Pav;8)*AV(Pen;2)*ZV(Eau;3)*EV(Mar;2)*ZV(Ind;1)*PV(RuD+Ban+CU+Pav+GE;2;0;1;0,4)
36	Fo>RuD=AL(1000)*ZV(Pen;0)*EV(Ech1;6)*PV(RuD+Ban+CU+PRu;2;0;3;1)*EV(Mar;2)
37	
38	Ind>Fri=PV(Etg;15)
39	RPD>Ind=EV(Cea;0)*EV(Ind;1)*NV(Ind;6;1;20)*ZV(Etg;10)*ZV(CU+Ban+PRu+Pav;1)*AL(1000)*ZV(pen;2)*ZV(Eau;2)*NV(CU;12;3;6)*AV(Cer+Oli+Sem+Vig+Pra;1)
40	RPD>Ind=EV(Cea;0)*EV(Eau;20)*NV(Ind;6;0;10)*AL(100)*ZV(pen;2)*ZV(Eau;2)*AV(Cer+Oli+Sem+Vig+Pra;1)
41	Pav>Ban=NV(Ban;3;4;50)*EV(CU;2)*ZV(Pen;1)
42	RuD>Ban=NV(CU;8;3;50)*EV(Rte;4)*EV(Mar;1)
43	Rpd>ban=pV(CU;5)*EV(CEA;0)*AV(Vig+Pra;1)*ZV(Eau;5)*ZV(Ind;1)*AV(Pen;2)*NV(ban;2;2;20)
44	RuD>ban=pV(CU;5)*EV(CEA;0)*AV(Vig+Pra;1)*ZV(Eau;5)*ZV(Ind;1)*AV(Pen;2)*NV(ban;2;2;20)

# ANNEXES

## Base de règles pour le scénario d'investissement.

N° de règle	Scénario 3 Investissement
1	RPD>Pav=EV(Rte;4)*ZV(Eau;3)*ZV(Ind;1)*EV(Pav;1)*AP(Ban;6)*NV(Pav;9;0;15)*ev(etg;35)
2	RuD>Pav=EV(Rte;4)*ZV(Eau;3)*ZV(Ind;1)*EV(Pav;1)*AP(Ban;6)*NV(Pav;9;0;15)*EV(etg;35)
3	RuD>Pav=NV(Ban;7;20;100)*aI(500)
4	RPD>Ban=ZV(Pen;0)*ZV(Eau;3)*ZV(Ind;1)*EV(Rte;4)*EV(etg;30)*NV(Ban;2;3;15)*NV(Ban;7;1;20)*EV(CU;5)
5	RuD>Ban=ZV(Pen;0)*ZV(Ind;1)*EV(Rte;4)*EV(etg;35)*NV(Ban;2;1;15)*NV(Ban;7;1;20)*EV(CU;5)
6	
7	RPD>RuD=EV(Rte;4)*NV(CU;15;2;4)*ZV(Ind;1)*NV(RuD;5;0;2)*EV(RuD;1)*ZV(Eau;3)*AL(50)
8	RPD>Pav=EV(CU;8)*ZV(Pav;5)*EV(CEA;0)*ZV(Eau;5)*ZV(Ind;1)
9	RPD>Pav=EV(Cea;0)*EV(Pav;1)*NV(Pav;10;1;22)*ZV(Eau;5)*ZV(Ind;1)*EV(CU;10)
10	RPD>RuD=AP(PRu+Ban;7)*ZV(Pen;0)*ZV(Eau;3)*ZV(Ind;1)*EV(Rte;4)*NV(RuD;3;0;4)
11	RPD>RuD=EV(Ech1;6)*AP(RuD+Ban+Pav+CU+PRu;6)*AL(4000)*ZV(Eau;3)*NV(RuD+Pav;2;0;4)
12	RuD>Pav=NV(Ban+CU+PRu+Pav;2;7;12)*NV(Pav;10;0;40)
13	RPD>Pav=NV(Ban+CU+PRu+Pav;2;7;12)*NV(Pav;10;0;40)
14	RuD>Pav=NV(Pav;10;0;40)*EV(Pav;1)*AV(Pen;1)*ZV(Eau;3)*ZV(Ind;1)*NV(Ban;1;0;4)*PV(CU;20)*ZV(PRu;4)*NV(CU+Ban;15;5;100)
15	RPD>Pav=AV(Pen;1)*ZV(Eau;3)*PV(CU+Ban+RuD;2;0;4;1)*ZV(Pav;5)*ZV(Ind;1)*AL(4000)*NV(Pav+Ban;8;0;30)
16	RuD>Pav=PV(RuD+Pav+Ban;3;0;7;1)*ZV(Pav;5)*ZV(Eau;3)*ZV(Ind;2)*AL(5000)
17	RPD>Pav=NV(CU;3;1;3)*NV(Pav;8;0;20)*EV(Pav+CU+Ban;1)*EV(Rte;3)*ZV(Eau;3)*ZV(Ind;1)*AL(8000)
18	RuD>Pav=EV(PRu;1)*AP(PRu+Ban;1)*ZV(Ind;1)*AV(Pen;1)*ZV(Eau;3)
19	RPD>Pav=AL(4000)*EV(PRu;2)*AP(PRu+Ban;1)*ZV(Ind;1)*ZV(Eau;3)*NV(Pav+Ban;8;0;30)
20	RPD>Pav=NV(CU;20;25;100)*EV(Pav;1)*NV(Pav;5;1;15)
21	
22	
23	RPD>Ban=PV(CU;2)*PV(Pav+GE+Ban+CU+PRu+RuD;2)*NV(CU;5;1;5)*AP(Pav+GE+Ban+CU+PRu+RuD;2)
24	RuD>Ban=PV(CU;2)*PV(Pav+GE+Ban+CU+PRu+RuD;2)*NV(CU;5;1;5)*AP(Pav+GE+Ban+CU+PRu+RuD;2)
25	Pav>Ban=PV(CU;2)*PV(Pav+GE+Ban+CU+PRu+RuD;2)*NV(CU;5;1;5)*AP(Pav+GE+Ban+CU+PRu+RuD;2)
26	RuD>Ban=NV(CU;7;10;50)*EV(Ban+GE;1)*EV(Rte;1)*ZV(Fo;1)*NV(Ban;4;10;25)
27	RPD>Ban=NV(CU;7;10;50)*EV(Ban+GE;1)*EV(Rte;1)*ZV(Fo;1)*NV(Ban;4;10;25)
28	Pav>Ban=NV(Ban+CU+PRu;2;9;12)
29	RuD>Ban=NV(Ban+CU+PRu;2;10;12)
30	RPD>Ban=NV(Ban+CU+PRu;2;10;12)
31	RPD>Ind=EV(Ind;1)*NV(Ind;10;1;18)*ZV(Etg;10)*ZV(CU+Ban+PRu+Pav;1)*AL(2000)*ZV(pen;2)*EV(Ban;8)
32	Rpd>Ind=PV(Etg;20)*NV(Ind;10;1;20)*AV(Pru+CU+Ban+Pav;2)*AV(Fo;1)*ZV(pen;2)
33	RuD>Ind=EV(Ind;1)*NV(Ind;10;1;20)*ZV(Etg;10)*ZV(CU+Ban+PRu+Pav;1)*AL(2000)*ZV(pen;2)*ZV(eau;2)*EV(Ban;8)
34	
35	RPD>RuD=AP(CU+Ban+Pav;8)*AV(Pen;2)*ZV(Eau;3)*EV(Mar;2)*ZV(Ind;1)*PV(RuD+Ban+CU+Pav+GE;2;0;1;0;4)
36	Fo>RuD=AL(1000)*ZV(Pen;0)*EV(Ech1;6)*PV(RuD+Ban+CU+PRu;2;0;3;1)*EV(Mar;2)
37	
38	RPD>Ind=EV(Cea;0)*EV(Ind;1)*NV(Ind;6;1;20)*ZV(Etg;10)*ZV(CU+Ban+PRu+Pav;1)*AL(2000)*ZV(pen;2)*NV(CU;12;3;6)
39	RPD>Ind=NV(Ban+CU;10;20;60)*EV(Rte;3)*ZV(eau;2)*ZV(Ind;6)*ZV(Pav+Ban;1)*PV(RuD+RPD;2;0;3;1)*ZV(Pen;2)*EV(Cea;0)
40	RPD>Ind=NV(Ban+CU;10;20;60)*EV(Rte;3)*ZV(eau;2)*ZV(Ind;3)*EV(Ech1+gar;5)*ZV(Pav+Ban;2)*PV(RuD+RPD;3;0;3;1)*ZV(Pen;2)*EV(Cea;0)
41	RuD>Pav=NV(Ban+CU+PRu+Pav;2;10;12)*EV(Gar;15)
42	RPD>Pav=NV(Ban+CU+PRu+Pav;2;10;12)*EV(Gar;15)
43	RuD>Pav=EV(Cea;0)*EV(Pav;1)*NV(Pav;10;1;15)*ZV(Eau;5)*ZV(Ind;1)*EV(CU;8)
44	RuD>Pav=EV(Mar;0)*NV(Ban+CU+GE+PRu+Pav;2;7;12)*NV(Pav;10;0;60)
45	RPD>Pav=EV(Mar;0)*NV(Ban+CU+GE+PRu+Pav;2;7;12)*NV(Pav;10;0;60)

# ANNEXES

## Base de règles pour le scénario de crise.

N° de règle	Scénario 4 crise
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	$RPD > RuD = NV(PRu + Pav; 1; 3; 4) * AV(Vig + Pra; 1)$
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	$RPD > RuD = AP(CU + Ban + Pav; 8) * AV(Pen; 2) * ZV(Eau; 3) * EV(Mar; 2) * ZV(Ind; 1) * PV(RuD + Ban + CU + Pav + GE; 2; 0; 1; 0; 4)$
36	$Fo > RuD = AL(1000) * ZV(Pen; 0) * EV(Ech1; 6) * PV(RuD + Ban + CU + PRu; 2; 0; 3; 1) * EV(Mar; 2)$
37	
38	$BAN > FRI = pV(cU + bAN; 5; 0; 8; 1) * EV(CU; 3)$
39	$Ban > Fri = EP(2020; 30) * EV(Mar; 0) * AP(Ban + CU; 10) * EV(RuD + RPD; 1) * ZV(CU; 2) * EV(Fri; 1)$
40	$Ban > Fri = EP(2020; 30) * EV(Etg; 20) * AP(Ban + CU; 10) * EV(RuD + RPD; 1) * ZV(CU; 2) * EV(Fri; 1)$
41	$Ind > Fri = AP(Etg; 20)$
42	$Ind > Fri = EV(Fri; 1)$
43	$RPD > Ind = EP(2030; 30) * EV(Cea; 0) * EV(Ind; 1) * NV(Ind; 6; 1; 10) * ZV(CU + Ban + PRu + Pav; 1) * AL(100) * ZV(pen; 2) * ZV(Eau; 2) * NV(CU; 12; 3; 6)$
44	$RPD > RuD = NV(CU; 20; 25; 100) * EV(Pav; 1) * NV(Pav; 5; 1; 15) * AP(PRu + Ban; 1)$
45	$Pav > Ban = EV(Pru; 3) * PV(Ban + Pru; 1) * AV(Ban + Pru; 7) * AV(Vig + Pra; 1) * AL(100)$
46	$RuD > Ban = EV(Pru; 3) * PV(Ban + Pru; 1) * AV(Ban + Pru; 7) * AV(Vig + Pra; 1) * AL(200)$

# ANNEXES

## Base de règles pour le scénario écologique.

N° de règle	Scénario 5 écologique
1	
2	
3	
4	RPD>Ban=ZV(Pen;0)*ZV(Eau;3)*ZV(Ind;1)*EV(Rte;4)*EV(etg;30)*NV(Ban;2;3;15)*NV(Ban;7;1;20)*EV(CU;5)*AV(Oli+Vig+Ver;1)*ZV(ZNI+PE;0)
5	RuD>Ban=ZV(Pen;0)*AV(Vig+Pra;1)*ZV(Eau;3)*ZV(Ind;1)*EV(Rte;4)*EV(etg;35)*NV(Ban;2;1;15)*NV(Ban;7;1;20)*EV(CU;5)*AV(Oli+Vig+Ver;1)*ZV(ZNI
6	
7	
8	
9	
10	RPD>RuD=AP(PRu+Ban;4)*ZV(Pen;0)*ZV(Eau;3)*ZV(Ind;1)*EV(Rte;3)*NV(RuD;3;0;4)
11	RPD>RuD=EV(Ech1;6)*AP(RuD+Ban+Pav+CU+PRu;6)*AL(1000)*ZV(Eau;3)*NV(RuD+Pav;2;0;4)
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	RPD>Ban=PV(CU;3)*PV(Pav+GE+Ban+CU+PRu+RuD;2)*NV(CU;5;1;5)*AP(Pav+GE+Ban+CU+PRu+RuD;2)*AV(Oli+Ver+Vig;1)*ZV(Pen;0)*ZV(Eau;3)*ZV(Ind
24	RuD>Ban=PV(CU;3)*PV(Pav+GE+Ban+CU+PRu+RuD;2)*NV(CU;5;1;5)*AP(Pav+GE+Ban+CU+PRu+RuD;2)*AV(Oli+Ver+Vig;1)*ZV(Pen;0)*ZV(Eau;3)*ZV(Ind
25	Pav>Ban=PV(CU;3)*PV(Pav+GE+Ban+CU+PRu+RuD;2)*NV(CU;5;1;5)*AP(Pav+GE+Ban+CU+PRu+RuD;2)*ZV(Pen;0)*ZV(Eau;3)*ZV(Ind;1)*ZV(ZNI+PE;0)
26	RuD>Ban=NV(CU;7;10;50)*EV(Ban+GE;1)*EV(Rte;2)*ZV(Fo;1)*NV(Ban;4;10;40)*AV(Oli+Ver+Vig;1)*ZV(Pen;0)*ZV(Eau;3)*ZV(Ind;1)*ZV(ZNI+PE;0)
27	RPD>Ban=NV(CU;7;10;50)*EV(Ban+GE;1)*EV(Rte;2)*ZV(Fo;1)*NV(Ban;4;10;40)*AV(Oli+Ver+Vig;1)*ZV(Pen;0)*ZV(Eau;3)*ZV(Ind;1)*ZV(ZNI+PE;0)
28	Pav>Ban=RV(Ban+CU+PRu;1)*ZV(Pen;0)*ZV(Eau;3)*ZV(Ind;1)*ZV(ZNI+PE;0)
29	RuD>Ban=RV(Ban+CU+PRu;1)*AV(Oli+Ver+Vig;1)*ZV(Pen;0)*ZV(Eau;3)*ZV(Ind;1)*ZV(ZNI+PE;0)
30	RPD>Ban=RV(Ban+CU+PRu;1)*AV(Oli+Ver+Vig;1)*ZV(Pen;0)*ZV(Eau;3)*ZV(Ind;1)*ZV(ZNI+PE;0)
31	
32	
33	
34	
35	RPD>RuD=AP(CU+Ban+Pav;8)*AV(Pen;2)*ZV(Eau;3)*EV(Mar;2)*ZV(Ind;1)*PV(RuD+Ban+CU+Pav+GE;2;0;1;0;4)
36	
37	
38	RPD>Ind=EV(Cea;0)*EV(Ind;1)*NV(Ind;6;1;20)*ZV(Etg;10)*ZV(CU+Ban+PRu+Pav;1)*AL(1000)*ZV(pen;2)*NV(CU;12;3;6)*ZV(Eau;2)*ZV(PNR;0)
39	RPD>Ind=EV(Cea;0)*EV(Eau;10)*NV(Ind;6;0;10)*AL(80)*ZV(pen;2)*ZV(Eau;2)*EV(Rte;8)*ZV(PNR;0)
40	RPD>Fo =AP(Fo;1)*ZV(Rte;1)*ZV(Pen;0)*PV(RuD+Ban+CU+PRu;2;0;3;1)*AV(Oli+Vig+Ver;1)
41	RuD>Fo =AP(Fo;1)*ZV(Rte;1)*ZV(Pen;0)*PV(RuD+Ban+CU+PRu;2;0;3;1)*AV(Oli+Vig+Ver;1)

# ANNEXES

## ANNEXE 4

Modes d'occupation du sol en 2010 et 2050 et principales transitions observées en nombre de cellules puis en % de l'ensemble des cellules du domaine étudié.

Scénario 1 : Projection tendancielle	2050	rural peu dense	banlieue	coeur urbain	pavillonnaire	pole rural	rural dense	foret	grand ensemble	industrie	tertiaire	Friche	
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2010		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
rural peu dense	2	14517	156	0	1079	0	1654	0	0	440	0	0	17846
banlieue	3	0	1180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1180
coeur urbain	4	0	0	238	0	0	0	0	0	0	0	0	238
pavillonnaire	5	0	222	0	1316	0	0	0	0	0	0	0	1538
pole rural	6	0	0	0	0	99	0	0	0	0	0	0	99
rural dense	7	0	163	0	614	0	1732	0	0	53	0	0	2562
foret	8	0	1	0	2	0	33	19083	0	1	0	0	19120
grand ensemble	9	0	0	0	0	0	0	0	47	0	0	0	47
industrie	10	0	0	0	0	0	0	0	0	541	0	100	641
tertiaire	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	0	32
Friche	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		14517	1722	238	3011	99	3419	19083	47	1035	32	100	43303

Scénario 1 : Projection tendancielle	2050	rural peu dense	banlieue	coeur urbain	pavillonnaire	pole rural	rural dense	foret	grand ensemble	industrie	tertiaire	Friche	
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2010		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
rural peu dense	2	33,5%	0,4%		2,5%		3,8%			1,0%			41,2%
banlieue	3		2,7%										2,7%
coeur urbain	4			0,5%									0,5%
pavillonnaire	5		0,5%		3,0%								3,6%
pole rural	6					0,2%							0,2%
rural dense	7		0,4%		1,4%		4,0%			0,1%			5,9%
foret	8		0,0%		0,0%		0,1%	44,1%		0,0%			44,2%
grand ensemble	9								0,1%				0,1%
industrie	10									1,2%		0,2%	1,5%
tertiaire	11										0,1%		0,1%
Friche	12												
		33,5%	4,0%	0,5%	7,0%	0,2%	7,9%	44,1%	0,1%	2,4%	0,1%	0,2%	100,0%

# ANNEXES

Scénario 2 : Densification ou Pouvoir régional		2050	rural peu dense	banlieue	coeur urbain	pavillonnaire	pole rural	rural dense	foret	grand ensemble	industrie	tertiaire	Friche	
2010		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
rural peu dense	2	17118	471	0	0	0	229	0	0	28	0	0	17846	
banlieue	3	0	1180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1180	
coeur urbain	4	0	0	238	0	0	0	0	0	0	0	0	238	
pavillonnaire	5	0	158	0	1380	0	0	0	0	0	0	0	1538	
pole rural	6	0	0	0	0	99	0	0	0	0	0	0	99	
rural dense	7	0	414	0	0	0	2148	0	0	0	0	0	2562	
foret	8	0	11	0	0	0	30	19079	0	0	0	0	19120	
grand ensemble	9	0	0	0	0	0	0	0	47	0	0	0	47	
industrie	10	0	0	0	0	0	0	0	0	516	0	125	641	
tertiaire	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	0	32	
Friche	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		17118	2234	238	1380	99	2407	19079	47	544	32	125	43303	

Scénario 2 : Densification ou Pouvoir régional		2050	rural peu dense	banlieue	coeur urbain	pavillonnaire	pole rural	rural dense	foret	grand ensemble	industrie	tertiaire	Friche	
2010		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
rural peu dense	2	39,5%	1,1%				0,5%			0,1%			41,2%	
banlieue	3		2,7%										2,7%	
coeur urbain	4			0,5%									0,5%	
pavillonnaire	5		0,4%		3,2%								3,6%	
pole rural	6					0,2%							0,2%	
rural dense	7		1,0%				5,0%						5,9%	
foret	8		0,03%				0,1%	44,1%					44,2%	
grand ensemble	9								0,1%				0,1%	
industrie	10									1,2%		0,3%	1,5%	
tertiaire	11										0,1%		0,1%	
Friche	12													
		39,5%	5,2%	0,5%	3,2%	0,2%	5,6%	44,1%	0,1%	1,3%	0,1%	0,3%	100,0%	

# ANNEXES

Scénario 3 : Investissement - Divertissement	2050	rural peu dense	banlieue	coeur urbain	pavillonnaire	pole rural	rural dense	foret	grand ensemble	industrie	tertiaire	Friche	
		2010	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
rural peu dense	2	14155	143	0	1358	0	1881	0	0	309	0	0	17846
banlieue	3	0	1180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1180
coeur urbain	4	0	0	238	0	0	0	0	0	0	0	0	238
pavillonnaire	5	0	235	0	1303	0	0	0	0	0	0	0	1538
pole rural	6	0	0	0	0	99	0	0	0	0	0	0	99
rural dense	7	0	166	0	851	0	1511	0	0	34	0	0	2562
foret	8	0	1	0	4	0	37	19078	0	0	0	0	19120
grand ensemble	9	0	0	0	0	0	0	0	47	0	0	0	47
industrie	10	0	0	0	0	0	0	0	0	641	0	0	641
tertiaire	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	0	32
Friche	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		14155	1725	238	3516	99	3429	19078	47	984	32	0	43303

Scénario 3 : Investissement - Divertissement	2050	rural peu dense	banlieue	coeur urbain	pavillonnaire	pole rural	rural dense	foret	grand ensemble	industrie	tertiaire	Friche	
		2010	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
rural peu dense	2	32,7%	0,3%		3,1%		4,3%			0,7%			41,2%
banlieue	3		2,7%										2,7%
coeur urbain	4			0,5%									0,5%
pavillonnaire	5		0,5%		3,0%								3,6%
pole rural	6					0,2%							0,2%
rural dense	7		0,4%		2,0%		3,5%			0,1%			5,9%
foret	8		0,0%		0,0%		0,1%	44,1%					44,2%
grand ensemble	9								0,1%				0,1%
industrie	10									1,5%			1,5%
tertiaire	11										0,1%		0,1%
Friche	12												
		32,7%	4,0%	0,5%	8,1%	0,2%	7,9%	44,1%	0,1%	2,3%	0,1%		100,0%

# ANNEXES

Scénario 4 : Crise durable	2050	rural peu dense	banlieue	coeur urbain	pavillonnaire	pole rural	rural dense	foret	grand ensemble	industrie	tertiaire	Friche	
	2010	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
rural peu dense	2	17703	0	0	0	0	139	0	0	4	0	0	17846
banlieue	3	0	1145	0	0	0	0	0	0	0	0	35	1180
coeur urbain	4	0	0	238	0	0	0	0	0	0	0	0	238
pavillonnaire	5	0	5	0	1533	0	0	0	0	0	0	0	1538
pole rural	6	0	0	0	0	99	0	0	0	0	0	0	99
rural dense	7	0	13	0	0	0	2549	0	0	0	0	0	2562
foret	8	0	0	0	0	0	50	19070	0	0	0	0	19120
grand ensemble	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47	47
industrie	10	0	0	0	0	0	0	0	0	381	0	260	641
tertiaire	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	0	32
Friche	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		17703	1163	238	1533	99	2738	19070	0	385	32	342	43303

Scénario 4 : Crise durable	2050	rural peu dense	banlieue	coeur urbain	pavillonnaire	pole rural	rural dense	foret	grand ensemble	industrie	tertiaire	Friche	
	2010	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
rural peu dense	2	40,9%					0,3%			0,0%			41,2%
banlieue	3		2,6%									0,08%	2,72%
coeur urbain	4			0,5%									0,5%
pavillonnaire	5		0,0%		3,5%								3,6%
pole rural	6					0,2%							0,2%
rural dense	7		0,0%				5,9%						5,9%
foret	8						0,1%	44,04%					44,15%
grand ensemble	9											0,11%	0,1%
industrie	10								0,9%			0,6%	1,5%
tertiaire	11										0,1%		0,1%
Friche	12												
		40,9%	2,69%	0,5%	3,5%	0,2%	6,3%	44,04%		0,9%	0,1%	0,8%	100,0%

# ANNEXES

Scénario 5 : Ecologie urbaine et territoriale		2050	rural peu dense	banlieue	coeur urbain	pavillonnaire	pole rural	rural dense	foret	grand ensemble	industrie	tertiaire	Friche	
2010		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
rural peu dense	2	16117	337	0	0	0	844	496	0	52	0	0	17846	
banlieue	3	0	1180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1180	
coeur urbain	4	0	0	238	0	0	0	0	0	0	0	0	238	
pavillonnaire	5	0	328	0	1210	0	0	0	0	0	0	0	1538	
pole rural	6	0	0	0	0	99	0	0	0	0	0	0	99	
rural dense	7	0	254	0	0	0	1944	364	0	0	0	0	2562	
foret	8	0	0	0	0	0	0	19120	0	0	0	0	19120	
grand ensemble	9	0	0	0	0	0	0	0	47	0	0	0	47	
industrie	10	0	0	0	0	0	0	0	0	641	0	0	641	
tertiaire	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	0	32	
Friche	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		16117	2099	238	1210	99	2788	19980	47	693	32	0	43303	

Scénario 5 : Ecologie urbaine et territoriale		2050	rural peu dense	banlieue	coeur urbain	pavillonnaire	pole rural	rural dense	foret	grand ensemble	industrie	tertiaire	Friche	
2010		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
rural peu dense	2	37,2%	0,8%				1,9%	1,1%		0,1%			41,2%	
banlieue	3		2,7%										2,7%	
coeur urbain	4			0,5%									0,5%	
pavillonnaire	5		0,8%		2,8%								3,6%	
pole rural	6					0,2%							0,2%	
rural dense	7		0,6%				4,5%	0,8%					5,9%	
foret	8							44,2%					44,2%	
grand ensemble	9								0,1%				0,1%	
industrie	10									1,5%			1,5%	
tertiaire	11										0,1%		0,1%	
Friche	12													
		37,2%	4,8%	0,5%	2,8%	0,2%	6,4%	46,1%	0,1%	1,6%	0,1%		100,0%	

## ANNEXE 5

# R2D2 2050

Risque, Ressource en eau et gestion Durable de la Durance en 2050

<http://r2d2-2050.cemagref.fr>



Avec le soutien de



### Changement climatique et gestion de l'eau dans le bassin de la Durance

Le bassin Durance – Verdon se caractérise par une grande diversité des usages « traditionnels » de l'eau tels que l'agriculture irriguée, l'hydroélectricité, l'alimentation en eau potable et l'industrie, mais aussi par des demandes sociétales récentes tels que les loisirs liés à l'eau, la sécurité sanitaire (qualité d'eau pour les différents usages : baignade, eau potable...), la sûreté face aux risques inondations sans oublier la préservation de la qualité des milieux. Ces usages sont des activités importantes pour le développement économique et social du territoire qui vont au-delà des limites naturelles des bassins versants de la Durance et du Verdon et même de la région PACA.

L'évolution démographique à moyen terme et à long terme, ainsi que le développement économique vont probablement accroître et modifier les besoins en alimentation, en énergie, en eau potable, en loisirs et en biens industriels avec des conséquences sur les demandes en eau des activités utilisatrices de la ressource. En parallèle, les réglementations communautaires (Directive Cadre sur l'Eau) et nationales (Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques) en matière environnementale pourraient s'avérer de plus en plus contraignantes et limiter ainsi la disponibilité en eau pour les autres utilisations. Le territoire de la Durance sera vraisemblablement confronté à deux évolutions prégnantes qui marqueront également la gestion de ses ressources en eau : le changement climatique d'une part et les évolutions socio-économiques et démographiques, d'autre part. Les effets combinés de l'accroissement des demandes en eau et du changement climatique dont on ne mesure pas encore les impacts réels sur la ressource hydrique, auront clairement une incidence sur la disponibilité en eau et le partage de cette dernière entre les usages de l'eau.

### Quels objectifs pour le projet R2D2 2050 ?

L'objectif du projet R2D2 2050 est d'analyser, dans le bassin de la Durance – Verdon et à l'horizon 2050, les conséquences potentielles de scénarios réalistes d'évolutions climatiques et anthropiques sur l'équilibre offre / demande en eau (en termes de fréquence et d'intensité des déficits et étiages sévères) et de proposer *in fine* différentes stratégies d'adaptation et de mitigation socio-économique pour une gestion intégrée et durable de la ressource. Le projet R2D2 2050 examinera spécifiquement le devenir des ressources hydriques en amont de Mallemort en différents points clés du bassin et cherchera à représenter les usages et demandes en eau connectés à l'hydrosystème. Il permettra en particulier d'apporter des éclairages sur :

- les évolutions du régime hydrologique des principaux cours d'eau du bassin versant et de l'offre en eau ;
- les demandes en eau actuelles et futures des usages de l'eau (hydroélectricité, agriculture, tourisme, etc.), y compris des principaux écosystèmes aquatiques, locales ou extérieures qui exercent une pression sur l'hydrosystème Durance - Verdon;
- les déséquilibres potentiels futurs qui découlent de la confrontation offre/demande sous scénarios de changement climatique et d'évolution socio-économique ;
- les marges de manœuvre et alternatives de gestion permettant d'assurer une gestion « équilibrée et durable » de la ressource en eau en cohérence avec les objectifs et enjeux de l'aménagement du territoire ;
- les principales incertitudes attachées aux résultats obtenus, ainsi que l'importance relative des sources d'incertitude potentielles.

Le projet R2D2 2050 prendra en compte les réflexions et conclusions du « Schéma d'Orientation pour une Utilisation Raisonnée et Solidaire de la Ressource en Eau » (SOURCE) porté par la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Il contribuera également au renforcement de la base de connaissances sur le changement climatique et sur l'adaptation à l'échelle nationale, complétant en particulier le projet EXPLORE 2070 «Elaboration et évaluation des stratégies d'adaptation au changement climatique en France face à l'évolution des hydrosystèmes et des milieux côtiers à l'horizon 2050-2070 » pilotée par le Ministère en charge de l'Ecologie.

### Contact

**Eric SAUQUET**  
Responsable scientifique et coordinateur du projet

Irstea  
Unité de Recherche Hydrologie Hydraulique  
5 rue de la Doua CS70077  
F-69626 VILLEURBANNE cedex  
[eric.sauquet@irstea.fr](mailto:eric.sauquet@irstea.fr)  
Tél. 04 72 20 87 87





## L'approche proposée en quelques mots

Structuré en différents groupes de tâches présentées dans le tableau ci-dessous, le projet de recherche R<sup>2</sup>D<sup>2</sup> 2050 s'appuie sur trois principes de recherche innovants :

- le développement d'une approche intégrée multidisciplinaire pour construire une représentation fidèle opérationnelle du fonctionnement de l'hydrosystème prenant en compte les principaux processus biophysiques et décisionnels, leurs interactions et leur spatialisation ;
- l'application simultanée sur les mêmes bassins versants de différents modèles hydrologiques et méthodes d'évaluation de la demande en eau future pour réduire les incertitudes résultant de choix méthodologiques ;
- la mobilisation d'acteurs du territoire

pour 1) co-construire des scénarios socio-économiques territoriaux, 2) partager les hypothèses et résultats et 3) évaluer leur pertinence opérationnelle dans le cadre des initiatives politiques en cours.

Groupe de tâche	Intitulé	Brève description
GT1	Coordination du projet	Coordination administrative et scientifique du projet, information et communication
GT2	L'anthropo-système Durance	Caractérisation de l'hydrosystème anthropisé dans son état actuel et ses évolutions récentes : ressource en eau, demande en eau des différents usages de l'eau, acteurs et gestion de la ressource en eau. Développement d'une plate-forme intégrée de modélisation et de simulation
GT3	Projections climatiques	Projections climatiques sur le territoire d'étude adaptées aux échelles spatiales et temporelles pertinentes pour la modélisation de la ressource naturelle et des écoulements influencés
GT4	Avenir de l'hydrosystème en configuration naturelle	Application de différentes options de modélisation au territoire d'étude, analyse et valorisation des sorties de modèles hydrologiques. Quantification et examen des incertitudes pesant sur les variables hydrologiques
GT5	Avenir de la demande en eau	Développement de scénarios de prospective territoriale pour les demandes en eau futures des principaux usages de l'eau. Analyse des incertitudes pesant sur les estimations futures de la demande en eau
GT6	Confrontation demande/ressource, options de gestion intégrée et concertée	Confrontation de l'offre et de la demande en eau pour identifier les potentielles zones de déficit et les risques de défaillance. Identification et évaluation d'alternatives de gestion de l'eau pour réduire ces déficits

## R<sup>2</sup>D<sup>2</sup> 2050 : Par qui ? Avec qui ?

Financé dans le cadre du programme GICC du Ministère en charge de l'Ecologie et par l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée et Corse, le projet R<sup>2</sup>D<sup>2</sup> 2050 est mis en œuvre par sept partenaires sous la coordination d'Irstea (anciennement Cemagref) : Irstea Lyon, EDF R&D LNHE Chatou, EDF DTG Grenoble, Université Pierre et Marie Curie Paris, Irstea Antony, LTHE Grenoble, Société du Canal de Provence, ACTeon. Sa durée est de trois ans (décembre 2010 – décembre 2013). Les activités de recherche sont conduites en lien étroit avec les acteurs clés du territoire, à partir d'entretiens ciblés et de réunions de travail territoriales ou thématiques qui viennent compléter les ateliers de prospective prévus.

### Acteurs du territoire Verdon-Durance



Comité de liaison territoriale

Un Comité de liaison territoriale pilotage comprenant les acteurs clés du territoire (incluant notamment la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA), l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée et Corse (RM&C), la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL)... ) permettra de tenir informé régulièrement l'ensemble des acteurs du territoire du déroulement du projet et des résultats obtenus.



Le canal de la Durance et la plaine - © EDF / Julien GOLDSTEIN



Paysage provençal - © www.luzac-campagne.fr



Les rives de Serre-Ponçon en été - © EDF / Bruno CONTY



SOCIÉTÉ DU CANAL DE PROVENCE ET DIMANAGEMENT DE LA RÉGION PROVENÇALE



## INFORMATIONS SUR LES EQUIPES DE RECHERCHE AYANT PARTICIPE AU PROGRAMME DE RECHERCHE

UMR IDEES – équipe MTG  
7 rue Thomas Becket, Bât. IRED  
université de Rouen  
76821 Mont Saint Aignan Cedex

**Tél :** 02 35 14 69 30

**Mail :** [patrice.langlois@univ-rouen.fr](mailto:patrice.langlois@univ-rouen.fr)

<http://www.umar-idees.fr>



**UMR6266-IDEES**

Identités et Différentiations de l'Environnement des Espaces et des Sociétés

UMR Géographie-cités – équipe PARIS  
Université Paris1 Panthéon-Sorbonne  
13, rue du Four  
75006 Paris

**Tél :** 01 40 46 40 00

**Mail :** [edwige.dubos-paillard@univ-paris1.fr](mailto:edwige.dubos-paillard@univ-paris1.fr)

<http://www.parisgeo.cnrs.fr>



EDF - Recherche & Développement  
Laboratoire National d'Hydraulique et Environnement  
6 quai Watier  
78401 CHATOU

**Mail :** [rene.samie@edf.fr](mailto:rene.samie@edf.fr)

**Tél. :** +33 (0)1 30 87 72 88

[www.edf.com](http://www.edf.com)