

ECOVILLE

Mobilité et Systèmes urbains durables

2014

La végétalisation des murs et des rues comme outil de résilience urbaine ?

« ECOVILLE »

Résumé du projet

Tableau récapitulatif des personnes impliquées.....

1. **Contexte, positionnement et objectif de la proposition**.....
 - a. Les services écosystémiques en ville
 - b. La résilience urbaine et la biodiversité
 - c. La végétalisation de l'espace minéral
 - d. Les objectifs du projet
 - e. Originalité du projet
2. **Programme scientifique et organisation**.....
 - a. Méthodologie générale
 - b. Les différentes tâches du projet
 - c. L'organisation du projet
 - i. Les responsables et partenaires impliqués
 - ii. Les liens et l'échéancier des tâches
 - d. Les partenaires
3. **Valorisation et impact de la proposition**.....
4. **Références citées**

Résumé:

La promotion de la nature fait partie des outils retenus pour améliorer le cadre de vie urbain, limiter les pollutions, atténuer les effets du réchauffement climatique et participer au maintien d'une biodiversité. Mais les travaux en écologie urbaine ont ciblé avant tout les espaces verts et les toitures végétalisées. Très peu de recherche concerne la végétalisation des murs et des rues qui pourraient jouer un rôle social, écologique et physique fondamental sur la durabilité urbaine. Cette recherche est indispensable à une réflexion globale d'urbanisme et aux mises en place des trames vertes en ville dense. Nous proposons un consortium de laboratoires de recherche, de PME et d'associations impliquées dans la démarche urbaine, capable de faire un premier bilan des services écologiques fournis par ces végétalisations, d'étudier leurs fonctionnements écologiques et biochimiques, les techniques de mise en œuvre et les appréciations citoyennes mais aussi d'expérimenter des prototypes innovants.

Notre programme peut se décliner en deux grands axes :

- **Qu'est ce qui existe et comment cela fonctionne-t-il aujourd'hui ?** Ce travail impliquera une étude bibliographique nationale et internationale (Phase A sur l'état de l'art et synthèse des connaissances sur la végétalisation écologique des murs, cours et rue en ville : services attendus, techniques mises en œuvre, implication sociale observée...) mais aussi des recherches actives sur les fonctionnements écologiques (Phase B sur l'évaluation des fonctionnements biotiques et abiotiques des techniques actuelles de végétalisation : quelle biodiversité, quelle relation aux substrats, aux conditions et contraintes physicochimiques...) et sociétaux (Phase C sur l'évaluation du fonctionnement sociétal de la végétalisation : quelle économie, quelle gouvernance, quelle réglementation, quelle perception...)

- **Quelles propositions innovantes peuvent être faites ?** Cela implique des travaux expérimentaux à l'échelle du bâti (Phase D sur l'expérimentation de propositions innovantes de végétalisation : réflexion sur la mise au point de prototypes, expérimentations architecturales sur les enduits, substrats, modes d'irrigation...), mais aussi des études sur les potentialités et les fonctionnements à l'échelle globale (Phase E sur l'évaluation des potentialités urbaines et fonctionnement attendu dans un projet urbain : superficie disponible, typologie des supports et des propriétaires, relation avec les trames vertes, évolution souhaitable des réglementations...).

Le travail est programmé sur 3 années et les analyses seront menées aux différentes échelles îlot/quartier/ville sur la ville de Nantes et du Grand Paris.

Summary:

The promotion of the nature is one of the tools used to improve the urban environment, reduce pollution, mitigate climate changes and contribute to the maintenance of biodiversity. But works in urban ecology have focused essentially on parks, gardens and vegetated roofs. Only few researches involve the greening of walls and streets that could play a social, ecological and physical role, base of an urban sustainability. This research is essential for a global approach to the urban planning and set up of green networks in dense city. We propose a consortium of research laboratories, SMEs and associations involved in urban approach, able to make a first assessment of the ecological services provided by these greenings, to study their ecological and biochemical functions, technical implementations and citizen appreciations, but also to experiment with innovative prototypes.

Our program can be divided into two main areas:

- **What is and how does it work today?** This work will involve national and international literature review (Phase A on the state of the art and synthesis of knowledge on ecological vegetation walls , courtyards and streets in town: expected technical services, implementations, observed social involvement...) but also active research on the ecological functions (Phase B on the evaluation of biotic and abiotic functions of current vegetation techniques: what biodiversity, what relationship with substrates, conditions and physicochemical constraints...) and social (Phase C on assessment of societal functioning of the vegetation: what economy, what governance, what regulations, what perception and opinions...)

- **What innovative proposals can be made?** This involves experimental work at building and street scale (Phase D testing of innovative proposals for vegetation: reasoning on the development of prototypes, architectural experiments on coatings, substrates, methods of irrigation...), but also studies on the potential and functioning at a global scale (Phase E on the evaluation of urban potential and functioning expected in an urban project: area available, types of spaces and owners, relationship with greenways, possible regulations...).

The work is set to three years and analyses will be conducted at different scales island / district / city on the city of Nantes and the Grand Paris.

Tableau récapitulatif des personnes impliquées dans le projet

Partenaire	Nom	Prénom	Emploi actuel	Implication dans le projet	Rôle & Responsabilité dans le projet (4 lignes max)
1 : UMR CESCO MNHN Paris	CLERGEAU	PHILIPPE	Professeur MNHN	40%	Coordinateur scientifique , dispersion graines et insectes, écologie du paysage urbain
1 : UMR CESCO MNHN Paris	MACHON	NATHALIE	Professeur MNHN	30%	Resp. Tâche 2 Ecologie végétale, Sciences participatives
2 :UMR LADYSS CNRS Paris1	SIMON	LAURENT	Professeur Paris1	10%	Géographie urbaine, interactions entre acteurs
2 :UMR LADYSS CNRS Paris1	RAYMOND	RICHARD	CR CNRS	25%	Resp. Tâche5 Perception/appréciation gouvernance
3 : UMR IESS CNRS INRA IRD UPMC UPEC UP7	ABBADIE	LUC	Professeur UPMC	18%	Resp. Tâches 1 et 3 Services écosystémiques Fonct. biochimique
3 : UMR IESS CNRS INRA IRD UPMC UPEC UP7	BAROT	SEBASTIEN	DR IRD	5%	Fonctionnement des couverts végétaux, écologie du sol
3 : UMR IESS CNRS INRA IRD UPMC UPEC UP7	DUPONT	LISE	MC UPEC	30%	Génétique des populations, biologie moléculaire
4 : UMR LGP CNRS Paris1	PECH	PIERRE	Professeur Paris1	20%	Palette végétale, Fonct. participatifs
4 : UMR LGP CNRS Paris1	ABOUT DE CHASTENET	CEDISSIA	Chercheur associé Architecte voyer Paris	30%	Urbanisme, Prospective et potentialités
5 : Agence architecture XLGD	LAGURGUE	XAVIER	Architecte Maitre-Assistant	30%	Resp. Tâche 4 et 6 Technologie, process réglementation
6 : Société TOPAGER	MADRE	FREDERIC	Co-directeur Docteur en écologie	30%	Resp. Tâche 7 Agriculture et biodiv urbaine, expérimentation
6 : Société TOPAGER	BEL	Nicolas	Co-directeur Agrégé de mécanique	15%	Agriculture urbaine, expérimentations
7 : APUR	BLANCOT	CHRISTIANE	Architecte-urbaniste,	10%	Resp. Tâche 8 Cartographie, potentialités
7 : APUR	BIGORNE	JULIEN	Ingénieur environn.	5%	Thermographie, énergie des logements
8 : IRSTV Nantes	MUSY	MARJORIE	Chercheure CERMA	15%	Energie Bâtiment, microclimatologie
9 : Plante&Cité	DAMAS	OLIVIER	Chargé de mission	10%	Resp. Tâche 9 - Sols urbains, conduite des végétaux, réseaux

					professionnels diffusion	et
--	--	--	--	--	-----------------------------	----

1. Contexte, positionnement et objectif de la proposition

a. Les services écosystémiques en ville

L'évolution de la ville vers une qualité de vie et une durabilité de gestion fait partie des grands enjeux sociétaux. L'adaptation de la ville notamment aux changements climatiques et à la disponibilité des énergies devient une priorité. L'installation d' « une nature » en ville fait partie des outils retenus notamment depuis le Grenelle de l'Environnement. Les services écosystémiques, c'est-à-dire les fonctions de l'écosystème dont l'homme tire avantage, sont donc évoqués aussi en ville : santé et bien-être, recherche d'ambiance et de loisirs, gestion et tamponnage des pollutions atmosphériques et des températures, gestion de l'eau, etc. Ces services écosystémiques (on dit aussi écologiques) ont été identifiés et définis autour de 3 axes majeurs (Millennium Ecosystem Assessment, 2005) : l'approvisionnement, les services culturels et les régulations environnementales.

L'approvisionnement concerne la fourniture directe de biens comme les consommables, les matériaux, etc. Dans nos villes cette fonction est la moins importante, elle est surtout reconnue à travers les jardins qui produisent des fruits et légumes (jardins privés, familiaux, ouvriers). Cette valeur est cependant tout autre dans les pays du sud où nourriture et bois sont fournis aussi dans les espaces urbains non construits. On peut cependant aussi y rattacher la fourniture en eau, les fleuves et les rivières étant des espaces à caractère naturel...

Les services culturels (éthiques, esthétiques et loisirs) sont parmi les valeurs des espaces verts les plus reconnues actuellement (Blanc et coll. 2007). Le citoyen souhaite une amélioration de son cadre de vie en intégrant une nature « de proximité ». Les paysagistes y répondent en jouant sur les aspects esthétiques et les urbanistes en y intégrant les fonctions de récréations. Les enjeux d'éducation à la nature et d'hygiénisme sont aussi évidents et les relations entre qualité naturelle de l'environnement urbain et bien-être moral et physique des citoyens sont maintenant bien démontrées (Tzoulas et coll. 2007). Ces espaces à caractère naturel peuvent aussi favoriser le développement des liens sociaux liés à la nature. A travers l'usage collectif (jardins partagés notamment) voire l'entretien par les citoyens (Sénécal et Laurent 1999), ces espaces verts sont sources de sociabilité.

Les services de régulation environnementale liés aux espaces à caractère naturel¹ sont de plus en plus démontrés. Le rôle des espaces verts dans la régulation hydrique est bien connu et les effets d'imperméabilisation dans certaines régions à très forte urbanisation ont été suffisamment démonstratifs pour imposer des contraintes d'urbanisme (par exemple la Rhur qui est à l'origine d'une taxe sur l'imperméabilisation des sols en Allemagne). Le rôle des végétaux dans les villes pour lutter contre les pollutions atmosphériques (par exemple par fixation des particules aériennes sur les feuilles) est également connu. On sait aussi que les arbres sont les meilleurs moyens de rafraîchir l'air sur une place (usage dans le pays du sud) et que certaines végétations ont un rôle évident dans les dynamiques thermiques des bâtiments (voir aussi Wania 2007 et Malys 2014). Le GIEC dans son dernier rapport du 13 avril 2014 souligne la priorité à donner à l'urbanisme pour réduire l'impact énergétique et notamment les objectifs de villes denses

¹ Terme défini par Clergeau (2007) comme regroupant toutes les formes de végétation existante en ville, non seulement les parcs et jardins mais aussi les friches, bords de voirie, fossés, ripisylves, etc.

et saines. Il faut cependant noter que beaucoup de ces services ont été extrapolés par rapport à quelques résultats de recherche et qu'ils sont souvent encore à conforter. Par ailleurs plusieurs travaux européens ont montré l'importance de considérer en analyse comme en gestion les effets cumulés ou contradictoires de différents services. Par exemple, il y a cumul des effets sur la pollution et des effets climatiques qui compensent largement certains effets négatifs (surcote de mise en place et de gestion)(M. Musy 2014 ; voir aussi la synthèse de Rankovic, Pacteau et Abbadie et de Clergeau in Boudes et Colombert 2012).

b. La résilience urbaine et la biodiversité

La résilience des villes, qui impliquerait non pas un retour à un hypothétique bon état antérieur mais plutôt une évolution vers un état d'équilibre de fonctionnement, ne peut pas s'affranchir d'intégrer complètement un fonctionnement écosystémique. L'analyse impose alors non seulement une connaissance des composants et des organisations des éléments structurant mais aussi l'impact de cette ville sur son environnement proche et lointain. L'explosion démographique en ville et les étalements qui y sont liés soulignent en effet une contribution aux dynamiques planétaires avec des effets connus sur les cycles biologiques, géochimiques et climatiques.

La biodiversité (diversité spécifique et fonctionnelle) qui soutient la fonctionnalité des systèmes « naturels » est rarement un objectif affiché en système urbain même si les trames vertes et bleues urbaines sont d'actualité dans les discours. Pourtant c'est cette biodiversité qui permettra la stabilité d'un fonctionnement (aussi bien interne à la ville que dans l'intégration de la ville dans son environnement) et limitera les gestions des espaces non bâtis. Cette biodiversité est transversale et support aux différents services écosystémiques. La conservation de la biodiversité dans toutes ses facettes devient alors indispensable à la survie de l'humanité (Cardinale et coll. 2012).

La ville, du fait même de son étalement actuel (plus de 20% du territoire métropolitain selon l'INSEE) devient une des composantes majeures de l'occupation de l'espace, et au même titre que l'agriculture ou la foresterie, se doit aujourd'hui de participer aussi à une stratégie de conservation de la nature. Il ne s'agit pas d'espèces remarquables et emblématiques mais plutôt de ce qu'on appelle biodiversité ordinaire, ensemble d'espèces en interaction constante qui permet l'expression des services et leur durabilité. Il s'agit donc bien d'écosystèmes vivants, la ville en fait partie qu'on le veuille ou non !

Les relations entre la végétation urbaine et la climatologie sont nombreuses. On sait que les végétaux répondent différemment selon les conditions climatiques en ville, et plus précisément selon la forme de l'îlot de chaleur (Mimet et coll. 2009). On sait aussi que les oiseaux sont, selon les espèces, plus ou moins précoces dans leur reproduction en ville qu'en campagne proche. Mais on doit aussi s'interroger sur le déplacement des aires de distribution des espèces qui glissent progressivement vers le nord avec le réchauffement. Ainsi les oiseaux ou les papillons montrent des tendances significatives à se reproduire dans des zones plus septentrionales qu'avant (Parmesan et coll. 1999, Huntley 2008). Face à ces dispersions différentes, les grandes métropoles semblent jouer un rôle de barrières aux dispersions régionales au moins pour les espèces moins mobiles. Donc à une échelle régionale, la relation climat-biodiversité est perturbée par l'étalement urbain, d'où l'importance aussi des réflexions sur le maillage de trames vertes urbaines (Clergeau et Blanc 2013) qui permettraient aux espèces de plus ou moins circuler dans les grandes mégapoles, au moins dans leurs bordures.

L'approche que nous soutenons ne peut se contenter ni d'une biotechnologie permettant de résoudre certains problèmes urbains (les services écosystémiques), ni d'une écologie naturaliste dont l'objectif serait la seule préservation des espèces. C'est bien l'implication des deux démarches qui peut s'inscrire dans un développement durable aux différentes échelles de fonctionnement (le bâti ou l'îlot, le quartier, la ville ou l'agglomération, la région).

c. La végétalisation de l'espace minéral

Dans les constructions nouvelles, une part des réflexions est aujourd'hui posée quant à la prise en compte d'éléments « verts » dans l'urbanisation. Le jeu des espaces, des publicités attendues et des publics visés aboutit par exemple aux notions d'écoquartier... Mais la majorité des villes ne sera pas structurellement modifiée, il s'agit dans tous les cas d'opérations de requalification avec le poids imposant des coûts du foncier qui limite toute création d'espace vert tout particulièrement en centre-ville ou ville dense. Même si quelques transformations radicales de l'espace urbain en faveur d'espaces verts s'observent dans certaines villes, on assiste la plupart du temps à une densification des quartiers et au « remplissage » des cœurs d'îlots dans lesquels subsistaient des jardins. Les démarches actuelles d'un développement de nature en ville, tant en production de connaissance qu'en mise en œuvre urbaine, concernent quasi exclusivement les quartiers suburbains, c'est-à-dire des formes urbaines plus ou moins lâches où il est possible de proposer des corridors écologiques, des aménagements de parcs ou une intégration des jardins privés (particuliers ou entreprises) dans des systèmes relationnels urbains-nature. Nos précédents travaux se sont ainsi concentrés sur les capacités d'acceptation sociale (Schwartz et coll. 2012, 2014...) et d'efficacité en termes de pollution (Rankovic et coll. 2012) ou de corridors écologiques (Perone et coll. 2012, Noel et coll. 2013, voir synthèse in Clergeau et Blanc 2013...) plutôt en milieu suburbain et périurbain.

Un des moyens du développement d'une « nature » dans la ville dense est la végétalisation du bâti et des espaces libres au sol. Pour l'essentiel, l'exercice concerne aujourd'hui les toitures et est déjà assez ancien dans des pays comme l'Allemagne ou l'Autriche avec des objectifs de régulation des eaux de pluie (Mentens et coll. 2006, Carter 2006). Même si les toitures supportent aujourd'hui aussi des justifications d'esthétique et même de biodiversité (alors que la plupart des toitures plantées en Europe ne le sont qu'avec des sédums) et de plus en plus de travaux d'ingénieries écologiques, aucune réflexion et recherche n'est menée sur une végétalisation écologique des murs et des rues en ville.

Les murs (pignons et façades) sont beaucoup plus nombreux en ville dense que les toitures plates (environ 5000m² par hectare urbain pour environ 3000m² de toitures (Grimmond et coll. 1991) et sont très visibles par le citadin depuis l'espace public ou à l'intérieur des cours à usage privé. Leur surface et leur configuration dépendent des formes urbaines (du lotissement au quartier d'affaire) et le ratio surface de mur/surface de toit devrait augmenter avec les processus de densification (Chu et Cheng 2010, Cheng et coll. 2010). Végétalisés, ils concernent dans tous les cas une nature de proximité pour tous et pourraient être un support majeur dans l'évolution des socio-écosystèmes et de la durabilité urbaine. Des services écologiques propres aux murs végétalisés ont aussi été listés (filtration de l'air, quiétude, réduction de l'îlot de chaleur...) mais les quelques techniques de construction qui existent sont peu valorisées et plutôt dans les pays chauds pour leur rôle de rafraîchissement (voir bibliographie in Musy 2014). Des travaux récents, notamment issus des recherches ANR « VegDUD », ont montré aussi le rôle

d'amélioration du confort thermique estival non seulement dans les bâtiments porteurs des murs végétaux, mais aussi des bâtiments de l'environnement proche (Malys 2012, Bozonnet et coll. 2013, Djedjig 2013).

Par ailleurs les toutes premières études de biodiversité montrent des potentialités tant en oiseaux (Chiquet 2012) qu'en arthropodes (Madre et coll. soumis).

Quant à la végétation des rues (arbres d'alignement, plantation d'espèces grimpances sur les trottoirs...), peu de connaissances est disponible sur sa dynamique, son interaction avec la chimie de l'atmosphère, le cycle de l'eau et des nutriments, son rôle dans la diversité locale et régionale de la biodiversité. A contrario, de nombreuses études ont été réalisées sur leur rôle sur le confort dans les rues (voir par ex. Shashua-Bar et coll. 2010). Les récents travaux de l'APUR sur l'îlot de chaleur urbain à Paris ont aussi mis en évidence l'apport micro-climatique des arbres d'alignements sur le confort thermique de l'espace public. De jour, la densité de la canopée permet de protéger le piéton de l'insolation directe et de prévenir le stockage de chaleur dans les revêtements de sol. La nuit, l'évapotranspiration permet de rafraîchir l'air ambiant. Le choix des essences et les politiques de taille sont des paramètres essentiels qu'il faudrait poser dans les politiques paysagères au titre de l'adaptation climatique des villes. Les modèles développés par le laboratoire Ville, Image et Environnement de Strasbourg vont aussi dans ce sens (voir Mehdi et coll. in Clergeau et Blanc 2013).

d. Les objectifs du projet

Nous souhaitons donc nous focaliser sur l'impact, l'adaptation et la résilience envers deux crises majeures qui interrogent le fonctionnement urbain : le changement climatique et l'érosion de la biodiversité. Cette résilience peut être définie comme la capacité d'un système urbain à absorber une perturbation et à retrouver ses fonctions à la suite de cette perturbation. L'opérationnalité du concept passe par la nécessité d'adapter le fonctionnement du système urbain. **Nous visons donc à comprendre comment la biodiversité peut s'installer et être support de services pour les citoyens.**

Nous analyserons la végétalisation avec une approche à la fois écosystémique prenant en compte les interactions vivant-vivant et vivant-non vivant dans cet espace particulier qu'est la ville, mais aussi socio-écosystémique, c'est-à-dire d'interactions entre homme-société et autres organismes et environnement physico-chimique. Des travaux sont en cours dans nos propres laboratoires sur les sols urbains, sur la biodiversité des toitures, des rues ou des espaces verts, sur l'impact climatique et énergétique du végétal ou sur les perceptions d'une nature sauvage en ville. Mais il n'y a actuellement pas de regroupement et de confrontation de ces compétences pour sortir d'un cadre plus ou moins académique vers un cadre plus opérationnel. Nos travaux antérieurs, notamment le programme ANR « TramesVertesUrbaines » ont révélé la richesse des intégrations pluridisciplinaires face à un objet, mais en même temps les limites de n'avoir pas intégré des professionnels de la gestion ou de l'urbanisme dans nos démarches d'applicabilité. C'est un point que nous voulons dépasser ici en mêlant tant dans les réflexions amonts que dans les stratégies de mise en œuvre, recherche académique / opérationnalité / propositions innovantes. Il ne s'agit cependant pas d'une simple suite des programmes ANR « TramesVertesUrbaines » ou bien « VegDUD » mais d'une interrogation nouvelle et complémentaire non engagée précédemment. Le programme « TramesVertesUrbaines » n'avait pas abordé les notions de murs, cours ou trottoirs comme support de biodiversité et le programme « VegDUD » n'avait pas inclus la composante biologique dans ses évaluations climatiques de végétalisation des bâtiments.

Enfin aucun des deux programmes n'a entamé une démarche de recherche et développement sur «comment et avec quoi faire des murs végétalisés « durables » en ville dense. Les deux programmes précédents se retrouvent donc, forts de leurs résultats, sur un questionnement nouveau.

Les résultats attendus concernent plusieurs questions emboîtées et **centrées sur les murs, cours et trottoirs végétalisés de l'urbain dense**. Le rôle écologique et social fort que pourrait jouer un nouveau traitement des murs des bâtiments et des rues des villes reste complètement posé et nous apparaît comme central dans toute évolution du système. Par ailleurs, alors que ce sont les éléments les plus courants et les plus perçus, il n'y a pas de recherche actuelle promettant de nouvelles formes de nature en ville. Nos autres travaux sur les toitures végétalisées, sur l'agriculture urbaine, sur la gestion des espaces verts, sur la climatologie des bâtiments participeront à la discussion finale sur le global, le projet urbain, mais ne seront pas directement impliqués dans ce projet d'ANR.

Nos questions peuvent se décliner en deux grands axes :

- **Qu'est ce qui existe et comment cela fonctionne aujourd'hui ?** Ce travail impliquera une étude bibliographique nationale et internationale sur l'état de l'art (services attendus, techniques mises en œuvre, implication sociale observée...) mais aussi des recherches actives sur les fonctionnements écologiques (quelle biodiversité, quelle relation aux substrats, aux conditions biotiques et abiotiques...) et sociétaux (quelle économie, quelle gouvernance, quelle réglementation, quelle perception...);
- **Quelles propositions innovantes peuvent être faites ?** Cela implique des travaux expérimentaux à l'échelle du bâti (réflexion et expérimentation architecturales et paysagères : enduit, substrat, irrigation...sur site), mais aussi des études sur les potentialités et les fonctionnements à l'échelle globale (superficie disponible, relation avec les trames vertes, évolution souhaitable des réglementations...).

e. Originalité du projet

Le projet ECOVILLE s'inscrit dans les objectifs programmatiques de l'ANR et les « *grands défis sociétaux* ». Les enjeux d'un développement d'une nature dans la ville, outre les réponses aux changements climatiques et à l'érosion de la biodiversité et sa contribution à la résorption de la précarité énergétique et des tensions sociales, interrogent pleinement le devenir et la place de la ville dans une durabilité de territoire et l'acceptabilité des densifications urbaines. La place de la biodiversité est en effet au centre de l'approche du mieux-vivre en ville. L'urbanisme comme la gestion des espaces de « nature » est en plein « virage » et questionne actuellement les fondamentaux du système urbain (au moins dans le monde de la recherche et dans quelques grandes villes). Notre projet s'inscrit complètement dans l'innovation et le transfert de connaissance vers les professionnels de l'architecture, de l'urbanisme, de la construction et du végétal. Il s'agit bien d'une ingénierie de l'adaptabilité avec ses différentes phases stratégiques, depuis la synthèse de l'état des connaissances actuelles jusqu'aux expérimentations pour la construction de nouvelles grilles de lecture des paysages urbains. Cette ingénierie dépasse les seules sciences de l'ingénieur, de l'écologue ou de l'urbaniste pour intégrer la dimension territoriale des espaces urbains (appropriation, conflits, médiation dans l'espace de la ville). Nous l'inscrivons dans la catégorie recherche « *développement expérimental* ».

Le projet ECOVILLE est un projet collaboratif en **partenariat public-privé** et s'inscrit dans l'axe « *Systèmes urbains durables* ». L'intégration des compétences disciplinaires

variées (écologie-biochimie, écologie du paysage, sociologie, géographie-urbanisme, ingénierie de la construction, démarches participatives) est un des points forts de notre démarche. La plupart des partenaires se connaissent et ont participé à des programmes communs de recherche et/ou à des co-encadrements de thèse. Le consortium s'articule en 3 pôles : un pôle Recherche avec 4 laboratoires, un pôle Entreprise avec une agence d'architecture et une jeune entreprise innovante de paysagistes, un pôle Expérimental avec l'Agence d'Urbanisme de Paris et plusieurs spécialistes de l'urbanisme et de la gestion des espaces.

2. Programme scientifique et organisation

a. Méthodologie générale du projet

Dans ce contexte, notre programme souhaite débroussailler le sujet et réaliser une série de recherches-actions : (1) faire une synthèse des connaissances sur les mises en œuvre, sur les services écosystémiques possibles rendus par la végétalisation des murs et des rues et sur l'implication sociale des habitants, (2) identifier les atouts et contraintes tant biologiques, abiotiques, techniques, réglementaires, économiques, culturelles que sociales, (3) évaluer les enjeux pour un développement de la biodiversité en urbain dense, (4) proposer et expérimenter de nouvelles méthodes de végétalisation, (5) resituer l'intérêt d'un investissement sur le minéral urbain par rapport aux appréciations, jeux d'acteurs et objectifs de trame verte aujourd'hui à l'œuvre. Le résultat biotechnique attendu devrait se situer entre des murs monospécifiques et peu coûteux (comme par ex. avec du lierre ou des vignes vierges) et des murs esthétiques très horticoles et très coûteux (comme les murs de type hydroponiques, sur membranes ou dans des modules) ou encore entre des rues monospécifiques ou plurispécifiques, aux fonctions strictement esthétiques ou esthétiques et fonctionnelles. Notre projet, qui est bien d'instaurer une nature spontanée en ville et de limiter les activités de gestion (engrais chimique et de consommation d'eau potable, fertilisation organique ou « naturelle », d'entretien, de replantation) par une biodiversité fonctionnelle, peut être décomposé :

A l'échelle du bâtiment et de la rue, nous envisageons d'avoir des études plus fonctionnelles que de proposer les classiques inventaires d'espèces végétales et animales spontanées. En créant des habitats nouveaux, nous savons que des espèces rares pour la région vont s'installer. Mais pour autant leur découverte n'implique aucune fonctionnalité biologique. Notre travail serait donc axé sur la compréhension des structures de communautés végétales et animales (macro et micro) et sur leurs interactions (plantes-faunes comme l'ornithochorie ou plantes-sol comme les remises à disposition des éléments nutritifs). Ces travaux qui engagent des expérimentations *in natura* sur divers substrats/supports (pour l'instant sur plantes grimpantes, hydroponiques modulaires ou membranaires, en jardinière...) avec une démarche descriptive et corrélative impliqueront l'étude tant de l'organisation de la faune du substrat, des interactions entre types de végétation, des qualités des drifts aériens (graines et insectes), des fonctionnements biochimiques, etc. Nos résultats doivent aboutir à une définition nouvelle et originale d'une biodiversité urbaine attachée aux rues présentant différents niveaux de végétalisation (murs, cours d'immeubles, dalles de parkings, pieds d'arbres, trottoirs, recoins, places et placettes, zones de stationnement,...) et des services qu'elle peut rendre à la société. L'analyse du fonctionnement des murs végétalisés doit fournir un nouveau

savoir générique et opérationnel. Un travail indispensable sur l'appréciation citadine doit être mené en tenant compte des types de communautés végétales installées et des contextes urbains. C'est en particulier en accompagnement des Opérations de Rénovation de l'Habitat que des enquêtes approfondies seront conduites pour apprécier les questions d'acceptation sociale et de services rendus et les pratiques actuelles des habitants. Un travail d'architecture et d'ingénierie sur les matériaux de façades, sur les substrats/supports acceptables, sur des installations en faveur des espèces urbaines spontanées, sur l'irrigation de ces murs (consommation énergétique, utilisation et filtrage des eaux de pluie, fertilisation...) doit accompagner la démarche. En point de mire, c'est donc l'évolution des techniques constructives et de leur gestion ultérieure qui est en question.

A l'échelle globale, aucune approche n'a aujourd'hui été engagée pour concevoir le tissu urbain comme un écosystème. Il y a un vrai travail d'urbanisme à construire autour de cette possibilité de végétalisation des murs, avec une approche originale en 3 dimensions. Ainsi doivent être posées scientifiquement l'implication des murs végétaux, et des transformations qu'ils impliquent, sur un fonctionnement de la rue (à côté des alignements d'arbre) dans la notion de corridors écologiques et leurs rapports avec les espaces verts urbains et les quelques toitures vertes en cours d'installation (trame verte). Les facteurs de distance aux sources d'espèces et d'organisation spatiale des habitats intermédiaires seront alors à étudier en fonction des typologies urbaines (croisement des cartes d'usage du sol, des types de bâtiments et d'espaces verts, des répartitions des propriétaires publics/privés, des potentialités... sous SIG). Ce travail doit permettre de discuter les qualités d'une matrice urbaine mais aussi les possibilités de densification urbaine et la réalité d'une « densification de biodiversité » sur des petits espaces ! Enfin à cette échelle, des analyses des jeux d'acteurs doivent être menées. Au-delà des relations interservices municipaux, et des réglementations, les questions relatives à l'implication des habitants, à la co-construction de projets, à l'équité dans l'accès et la gestion de ces espaces doivent être posées. A la dimension sociale de ces espaces s'ajoute une dimension plus individuelle (ressenti, bien-être et/ou répulsion) qu'il conviendra de prendre en considération.

Un travail sera engagé expérimentalement sur quelques murs de l'Ile de France (travail mené avec les services des villes de Paris et de Nantes) et possiblement sur des structures expérimentales de l'Ecole du Breuil (ville de Paris). Il s'agira notamment de tester de nouvelles formes de végétalisation, les espèces qui s'y installent et le fonctionnement biochimique du système et d'expérimenter le triptyque végétation-support-irrigation en cohérence avec les services écosystémiques attendus (d'où une série de workshops avec différents spécialistes). Nous compléterons les travaux déjà obtenus en thermographiant les pignons avant/après végétalisation afin de quantifier l'apport de ces surfaces en termes de confort des usagers des espaces. Des analyses globales seront réalisées sur des îlots des **villes de Nantes et du Grand Paris**, pour tenir compte de contextes différents tant au point de vue biogéographique que sociologique et architectural. Des réflexions sont déjà en cours sur les immeubles du secteur de l'Opération « Pour l'Amélioration de l'Habitat 2D2E » (secteur République - Paris). Un travail « expérimental » de prospective cartographique permettant d'identifier les potentialités des pignons végétalisables sera réalisé avec l'Atelier Parisien d'Urbanisme.

Concrètement les deux grands axes de questionnements identifiés précédemment seront déclinés en 6 phases :

- **Phase A : Etat de l'art et synthèse des connaissances sur la végétalisation écologique des murs, cours et rue en ville**

- **Phase B : Evaluation des fonctionnements biotiques et abiotiques des techniques actuelles de végétalisation**
- **Phase C : Evaluation du fonctionnement sociétal de la végétalisation**
- **Phase D : Expérimentation de propositions innovantes de végétalisation**
- **Phase E : Evaluation des potentialités urbaines et fonctionnement attendu dans un projet urbain**
- **Phase F : Elaboration d'une valorisation ciblée à l'endroit des acteurs de la ville**

Le travail est programmé sur 3 années et chaque phase est décomposée en une ou deux tâches. Les analyses seront menées aux différentes échelles sur la ville de Nantes et du Grand Paris.

b. Les différentes tâches du projet :

Phase A : Etat de l'art et synthèse des connaissances sur la végétalisation écologique des murs, cours et rue en ville = tâche 1

Il s'agit de fédérer les connaissances déjà acquises sur les différents volets concernés par le projet. Les bilans concerneront les recherches, mises en œuvre et produits développés tant sur les aspects végétations, biodiversité, bilans physico-chimiques, réglementaires qu'architecturaux. Cet état de l'art intégrera donc l'identification des services écosystémiques et les avancées actuelles en écologie urbaine, ingénierie, architecture et paysagisme. Il valorisera l'enquête sur la gestion des murs végétalisés auprès des maîtres d'ouvrages et gestionnaires délégués réalisé par Plante&Cité en 2012. Cette synthèse servira de base pour toutes les méthodologies et réflexions sur la création de prototypes.

Phase B : Evaluation des fonctionnements biotiques et abiotiques des techniques actuelles de végétalisation

Il s'agit d'évaluer comment cela fonctionne aujourd'hui. Il convient d'effectuer des recherches comparatives sur les quelques types de murs, et trottoirs déjà végétalisés tant au niveau fonctionnement de la biodiversité (tâche 2) qu'au niveau des relations biochimiques et physiques (tâche 3). Ces résultats qui viendront compléter les acquis obtenus par ailleurs orienteront les réflexions sur le choix des prototypes et les conseils de gestion envisageables.

Tâche 2 : Fonctionnements de la biodiversité liée à la végétalisation en ville dense.

L'objectif est de comprendre les mécanismes à l'œuvre dans l'installation puis le maintien d'une flore et d'une faune dans le contexte de verticalité ou bien de contraintes fortes d'urbanité (pieds d'arbres ou de murs). Les travaux basés sur des comparaisons entre plusieurs sites aborderont :

- L'étude du mouvement des espèces permettant de déterminer les communautés potentielles. La dispersion des espèces sera notamment analysée par des recherches originales sur la qualité et la quantité du drift aérien en ville (graines et arthropodes véhiculés par le vent captés par des pièges à plaque collante), les capacités d'une ornithochorie urbaine (transport des graines par les oiseaux captées par des filets sur cadre ayant déjà fait l'objet de validation scientifique), et les transports par les véhicules (pièges disposés le long de grandes voies de transport),

-des études de réponse à des substrats différents et sous conditions hygrométriques variables seront mises en œuvre (lots de bacs avec substrats et arrosages différents suivis en condition réelle).

-Une étude métagénomique des eucaryotes (vers de terre) et des procaryotes (bactéries, archées, champignons) des sols des pieds d'arbres et des zones de végétation basse des rues ainsi que des pelouses de quelques parcs en comparant des zones hypervariables des gènes de l'ARNr (16S, 18S, 28S...) ou des ITS (Internal Transcribed Space) sera conduite. Elle permettra d'accéder à la composition, à l'évolution et aux liens de parentés entre communautés microbiennes d'une part et de vers de terre d'autre part, ainsi que des corrélations éventuelles entre les patterns de distribution spatiale des eucaryotes et procaryotes des sols urbains. On pourra déduire des données acquises une première appréhension du degré d'isolement et des capacités de dispersion des organismes du sol en milieu urbain.

-les dynamiques des communautés végétales. Même au cœur des villes les plus denses, végétaux et animaux cohabitent avec les humains. Cependant, étant donnée la configuration spatiale des infrastructures bâties des villes, toutes les espèces n'ont pas les mêmes chances de s'installer et de survivre. Parmi l'ensemble des espèces qui peuplent la région, seules celles qui auront pu rejoindre les sites urbains, par leurs propres moyens (en volant par exemple) ou bien amenées par des animaux ou des engins de transport pourront peupler ces sites. Parmi les espèces qui auront réussi à arriver dans ces sites, seules celles compatibles avec leurs caractéristiques écologiques pourront y vivre. Si bien que sur l'ensemble des possibles, la communauté réalisée sera forcément réduite.

Des murs déjà analysés en 2011 (thèse de F. Madre) seront à nouveau étudiés dans un but d'analyse des dynamiques. L'analyse de la flore inventoriée sur 1500 pieds d'arbres de Paris depuis 2010 permettra la quantification avec précision du transfert des espèces entre les différents pieds d'arbres, d'une année sur l'autre ainsi que les phénomènes d'envahissement ou d'extinction des différentes espèces dans le quartier étudié. Le concept de « métapopulation » sera utilisé. Nous analyserons également les organisations de populations chez des animaux comme les vers de terre (à travers la diversité génétique). Enfin une étude des diversités microbiennes des sols (y compris sur les murs) permettra de compléter l'approche fonctionnelle des substrats (travaux aussi en cours par la PME TOPAGER et le laboratoire IESS) et de donner une base aux études biochimiques. L'ensemble de ces résultats assoiera une discussion sur le fonctionnement dynamique de la biodiversité urbaine.

Tâche 3 : fonctionnement biogéochimique des végétalisations en murs et rues

Le fonctionnement biogéochimique sera d'abord analysé par compartiment de végétalisation avant d'être intégré dans une analyse plus globale d'une succession trottoirs-murs. Trois types de couverts « en place » seront abordés : arbres des rues, pelouses et végétations basses des rues, végétations sur murs :

- Arbres des rues : deux espèces communes seront considérées (tilleul argenté et platane) et une espèce fixatrice d'azote atmosphérique qu'il serait a priori intéressante de promouvoir (choix lié à discussion avec les différents services municipaux et Plante&Cité). L'objectif est une quantification du fonctionnement des arbres des rues au niveau individuel, en tant que première approche de la durabilité des micro-écosystèmes qu'ils structurent (les arbres sont-ils confrontés à des facteurs limitants importants ? Quel est leur impact sur les ressources ? Etc.). L'objectif est aussi de fournir les données de base à une modélisation de l'écosystème rue qui sera réalisée ultérieurement. Les composantes du fonctionnement biogéochimique qui seront mesurées sont : la vitesse de croissance radiale, la photosynthèse, les échanges d'eau et de CO₂ avec l'atmosphère,

l'importance des stress hydriques éventuels, le potentiel de transpiration des arbres et leur contribution potentielle au refroidissement, l'origine du carbone, des nutriments assimilés (notamment l'azote), de l'eau, la dynamique du carbone et des nutriments des sols de pieds d'arbres.

- Pelouses et végétation basse des rues : on s'intéressera à des couverts à végétation permanente (et non à des couverts dont les végétaux sont renouvelés annuellement ou plus fréquemment encore). Nous souhaitons les analyser en termes de structure et de fonctionnement de couverts composés, sur le plan fonctionnel, de plantes pérennes, de plantes herbacées et de plantes ligneuses, de plantes à racines profondes ou à racines superficielles, etc. Sur une série de situations de référence, les composantes du fonctionnement biogéochimique qui seront mesurées sont les mêmes que celles listées pour les arbres. Les résultats acquis dans la cadre de la tâche 2 sur la diversité microbienne des sols seront confrontés à ceux concernant le fonctionnement biogéochimique afin de déterminer dans quelle mesure la biodiversité microbienne peut expliquer la variabilité du fonctionnement biogéochimique des végétalisations de rues.

- Murs végétalisés : Les études seront réalisées sur des murs à liane (vigne vierge, lierre, clématite, etc.), principales formes de mur végétalisé mais nous effectuerons également les séries de mesures sur les formes nouvelles de végétation qui pourraient être proposées par le consortium. Les mesures sont assez identiques à celles réalisées sur les sols des arbres avec notamment photosynthèse, échanges d'eau et de CO₂ avec l'atmosphère, dynamique des nutriments dans les feuilles, efficacité d'usage des ressources minérales. Sur ces murs, il sera réalisé une thermographie qui doit évaluer l'interaction de la façade végétale avec l'espace. Les aspects énergétiques seront donc étudiés par rapport à leur participation à l'ambiance thermique de l'espace public. Le type et le fonctionnement hydrique de la façade sont des paramètres importants dans ce rôle de régulateur des ambiances et ils seront étudiés pour différents types de façade.

Phase C : Evaluation du fonctionnement sociétal de la végétalisation = tâches 4 et 5

Cette phase doit permettre d'évaluer deux composantes essentielles de la mise en place d'une végétalisation urbaine, à savoir les contraintes techniques et réglementaires et l'appréciation *a priori* des citoyens.

Tâche 4 : Evaluation des contraintes économiques, techniques et réglementaires

Le travail consistera en premier lieu à situer les dispositifs de végétalisation dans le contexte réglementaire du droit de la propriété. Par exemple, murs d'équipements, de limites parcellaires n'ont pas le même statut que des murs pignon (la végétalisation des murs pignons aveugles soulève l'épineuse question de mitoyenneté). Dans ce dernier cas, le végétal en terre prend racine dans une unité foncière et s'accroche sur un support qui, dans le meilleur des cas sera mitoyen et partagé. Il s'agira par conséquent d'établir un inventaire ciblé des situations impliquant les notions de biens « publics » et « privés », mais aussi du droit des co-propriétés vis-à-vis d'une nature spontanée et potentiellement perçue comme nuisible à l'intégrité du bâti. Les règles de l'art désignent un ensemble de réglementations de normes, de critères économiques, et d'habitudes constructives dont le respect conditionne la pérennité du bien. Le cadrage réglementaire est ainsi un point important d'ancrage dans la réalité urbaine et un travail de typologie de tous ces aspects sera aussi une des bases de la réflexion sur les potentialités (tâche 8).

Tâche 5 : Evaluation des appréciations citoyennes

L'objectif de la tâche 5 est de saisir les facteurs sociaux qui sont favorables ou, au contraire, bloquants dans la végétalisation de la ville. Ces facteurs sociaux seront saisis à

partir de retours d'expérience interrogeant des cas concrets déjà mis en œuvre avec succès ou qui se sont soldés par un échec (disparition de la végétation par manque d'entretien, critique radical des opérations conduites,...). Ce travail concernera trois systèmes sociaux interdépendants : les citoyens, les acteurs de la société civile et les systèmes de gouvernance des villes, quartiers ou rues :

-Les citoyens (habitants ou visiteurs) : il s'agira de saisir la manière dont ces espaces végétalisés sont appréciés (positivement ou négativement) au regard de leur contribution au cadre de vie ordinaire des citoyens. Sont-ils perçus ? Participent-ils à l'ambiance d'un quartier, d'une rue ? Créent-ils un sentiment d'apaisement ou, au contraire, de stress lié à une impression d'insécurité due au foisonnement végétal ? Sont-ils de simples éléments de décors ou sont-ils appréciés comme éléments signifiants de propriétés urbaines, de dynamiques environnementales ou de processus sociaux ?

-Les acteurs de la société civile sont considérés comme des relais des acteurs en charge de la gestion de la ville (communes, intercommunalités). Du fait de manque de moyen financier, humain ou technique, c'est à eux qu'échoient sinon l'installation de ces végétalisations, au moins le soin de l'entretenir (taille, arrosage ou simple surveillance). A partir de cas réels, nous analyserons les facteurs permettant l'engagement pérenne de ces acteurs afin d'assurer une certaine permanence à ces nouvelles formes de végétalisations urbaines et échapper au caractère éphémère de la performance artistique ou revendicative.

-Enfin, nous analyserons les systèmes de gouvernance qui se tissent autour de ces situations urbaines et qui articulent des acteurs différents, aux compétences variées et aux légitimités parfois hétérogènes. Ce sont ces systèmes de gouvernance de ces objets urbains végétalisés qui articulent les citoyens, les acteurs de ces végétalisations et les acteurs gestionnaires de la ville. Nous analyserons les conséquences de ces systèmes de gouvernance. Parmi les dimensions étudiées, nous analyserons avec attention l'articulation entre le privé et le public, médiée par ces objets urbains végétalisés. Assistent-ils à une différenciation/défense d'espaces privés, une appropriation d'espaces publics, un partage avec le public (physique ou symbolique) d'espace privé... ?

Ce travail sera réalisé à partir d'enquêtes de terrain en cherchant à comparer les situations et à articuler les résultats de cette tâche avec ceux des autres tâches. Nous rechercherons systématiquement la référence matérielle des discours produits : de quoi les informateurs parlent-ils, de quels éléments de nature, de quel objet végétalisé... ? Ces aspects permettront de souligner les différences entre les situations mais aussi les répétitions et les similitudes en disposant de critères de comparaisons stabilisées.

Phase D : Expérimentation de propositions innovantes de végétalisation = tâches 6 et 7

Cette phase est au cœur de notre programme de R&D en voulant proposer puis tester différentes formes de végétalisation qui répondent aux critères et exigences identifiés dans les tâches précédentes. Elle impliquera tous les partenaires autour d'une réflexion sur les nouveaux matériaux, gouttière verte, descentes vertes, façades suintantes, noues intégrées en trottoir, type de végétaux... L'objectif de la constitution d'un cahier des charges portera entre autre sur la pertinence écologique des systèmes évalués (analyse des cycles de vie des matériaux, consommations envisagées, utilisation des eaux brutes, etc.) et la faisabilité technique.

Tâche 6 : Conception de prototypes de végétalisation

L'immense majorité des sinistres dans les bâtiments sont dus à l'eau, les constructeurs de toutes les époques n'ont cessé de chercher à assurer l'étanchéité à l'eau des enveloppes.

Or le végétal a besoin d'eau et est porteur d'humidité. Les façades et toitures végétalisées correspondent ainsi d'un point de vue technique à un changement de paradigme constructif tout à fait contemporain qui s'oppose fondamentalement aux acquis séculaires des règles de l'art. Inventorier les détails types représentatifs qui permettent de garantir la durée de vie d'un ouvrage permettra d'orienter les recherches techniques qu'appelle le projet. Par exemple, le pied de mur est à la fois un lieu privilégié pour la biodiversité spontanée et une zone sensible pour les constructeurs qui cherchent à éloigner l'humidité du bâtiment. Il s'agit aussi de faire en sorte non seulement que la nature ne menace pas de ruiner le construit mais qu'elle participe au contraire à l'amélioration de ses performances de sorte que l'un et l'autre fassent système. Le projet « Ecoville » est de ce point de vue un défi technologique qui permettra de générer et de tester un certain nombre d'innovations comme les « gouttières vertes » ou les « trottoirs verts ». Ces dispositifs innovants seront ciblés en réponse aux marchés du bâtiment et des travaux publics. Ils feront l'objet de prototypages avec des industriels du secteur et seront susceptibles d'apporter au marché et aux praticiens de nouvelles solutions constructives viables.

Par ailleurs de nouveaux modes de gestion de l'espace urbain sont d'ores et déjà en train d'apparaître, par exemple concernant le nouveau zonage pluvial parisien. Le coulage des caniveaux qui constitue la façon classique de nettoyer les rues ainsi que l'ensemble du dispositif topographique actuel qui renvoie l'eau de pluie dans les caniveaux va devoir être revu afin de minimiser le renvoi des eaux de surface dans les égouts. Leur réutilisation notamment pour la gestion d'une végétation plus dense sur l'espace public peut donc orienter des expérimentations pour mettre au point un système qui, à partir du système parisien existant, le transforme pour l'adapter (partie de l'expérimentation qui impliquera quatre directions de la municipalité : DU, DEVE, DVD, DPE).

Nous imaginons deux types de prototypes de végétalisation :

- des dispositifs expérimentaux de végétalisation réalisés à partir des techniques connues,
- des dispositifs nécessitant la réalisation préalable d'éléments industriels préfabriqués et aussi de cultivars spécifiques. Cela suppose la planification de la mise au point avec un (des) producteur(s) avant installation sur site. Cette démarche doit intégrer aussi les réflexions sur les parements ou les enduits potentiellement utilisables pour notre objectif, par exemple la céramique poreuse des suisses de Hepia (Genève), le béton vert des hollandais de Delphes ou les éléments céramiques avec des fentes (projet Wow avec Terreal et TOPAGER).

Pour l'instant, nous identifions deux formes originales de dispositifs :

- « La gouttière verte ». Que le toit soit plat ou en pente, les eaux pluviales sont évacuées par des dalles, en fonte, en zinc ou en PVC. Lorsque ces descentes fuient, il est fréquent de voir s'installer une végétation spontanée au niveau des parties dégradées. Notre projet consiste à exploiter ce phénomène « naturel » pour générer différents dispositifs qui vont de l'arrosage gravitaire à la « descente verte » qui permet à la végétation spontanée de coloniser tout ou partie de la conduite. Ce dispositif permettra notamment de réduire considérablement le débit de fuite (à mesurer avant-après) des parcelles bâties. Des réflexions sur les stockages intermédiaires d'eau et réserves tampons en eau réparties sur la hauteur, les végétaux de types mousses, espèces rupicoles et lianes plurispécifiques, la nécessité ou non d'une couverture végétale à 100% pour atteindre les objectifs de résilience et fonctionnalité, seront le point de départ de nos recherches.

- « Le trottoir vert ». Toujours sur le chemin de l'eau, le caniveau irrigue naturellement la bordure du trottoir. Comme sur la descente d'EP, les joints entre éléments préfabriqués constituent un lieu privilégié d'apparition de la végétation spontanée. Nous aimerions pouvoir développer dans le cadre de ce projet, un prototype d'élément préfabriqué destiné aux travaux de voirie et susceptible de contribuer aux continuités vertes le long des zones

minéralisées. Nous examinerons l'intérêt de l'installation de noues sur trottoir comme réalisé à Boston et l'intégration de la gestion des eaux pluviales.

Enfin nous examinerons la compatibilité de nos murs et trottoirs à vocation écologique (biodiversité, régulation des pollutions, baisse des températures...) avec les systèmes de production (type murs de fraise ou petits potagers partagés en pied d'arbre...).

Nous aimerions, dans le cadre de ce projet, pouvoir développer plusieurs expérimentations grandeur nature avec prototypes et peut être dépôts de brevets à la clef. Certains contacts avec des entreprises partenaires sont déjà amorcés.

Tâche 7 : Mise en place des expérimentations et gestion écologique

Suite à l'établissement d'un cahier des charges, il sera décidé la mise en place de différents systèmes ou prototypes de végétalisation (nombre de modalités à définir en fonction des surfaces disponibles et discussions en cours avec Services des Espaces Verts et de l'Urbanisme de Paris et Nantes) conjointement sur un même site (sites potentiels : Ecole du Breuil, Réservoir désaffectés d'Eaux de Paris à Ivry sur Seine,...).

Ces systèmes seront d'abord évalués dans le cadre de notre programme sur une période de 2 ans. Nous étudierons en particulier la tenue et le développement du couvert végétal, l'installation d'espèces spontanées (faune et flore) et les modalités de gestion des différents systèmes.

Les prototypes et systèmes existants étudiés seront alignés dans les mêmes conditions climatiques sur un même site. Ils seront instrumentés par divers capteurs qui permettront d'évaluer leurs propriétés bioclimatiques et leur stress hydrique. Une station météo et une centrale d'acquisition permettront de recueillir les données. Les surfaces étudiées seront à définir en fonction des systèmes et des objectifs, il est envisagé d'étudier de 5 à 10 systèmes de végétalisation verticale (et autant de trottoirs avec pied d'arbres ou noues ou...) pour des surfaces unitaires de 10m² à 20m². Les prototypes seront mis en œuvre simultanément puis étudiés à des pas de temps très régulier à définir en fonction des protocoles choisis : bioclimatologie (acquisition heure par heure), stress hydrique (surveillance quotidienne par capteurs), évaluation visuelle de la santé des systèmes (tous les 3 jours au minimum), évaluation phytosociologiques (tous les 3 mois), évaluation de la biomasse (tous les 3 mois), évaluation de la fréquentation ornithologique (tous les 3 mois), évaluation faunistique par des inventaires normalisés d'arthropodes indicateurs (tous les 6 mois), évaluation de la gestion écologique (bilan annuel des consommations et des besoins en entretiens, bilan des rendements pour les systèmes productifs), évaluation esthétique (tous les ans par un panel d'appréciateurs).

Nous souhaitons que le travail initié puisse être suivi dans le temps au-delà de la durée du programme financé par l'ANR. Nous pensons donc nécessaire d'inclure nos expérimentations mais aussi des sites installés en pleine ville dans des programmes à plus long terme. Pour l'instant, nous avons retenu deux pistes pour cette démarche : l'intégrer dans le cadre d'observatoires urbains tels que ceux montés par la ville de Paris et de Nantes (discussion en cours avec les services gestionnaires DEVE et SEVE), et l'intégrer dans le cadre de programmes de science participative (Vigie-Nature) qui a pour double objectif de sensibiliser le grand public aux problèmes environnementaux et de récolter des données en grand nombre sur la biodiversité. Parmi les différents projets, « Sauvage de ma rue » (grand public) et « Florilège » (gestionnaires des voiries) semblent tout à fait opérationnels pour cette démarche.

Phase E : Evaluation des potentialités urbaines et fonctionnement attendu dans un projet urbain = tâche 8

L'insertion de murs et trottoirs végétalisés doit se faire en fonction des différentes échelles (quartier/ville), et en fonction des différents acteurs (citadins, propriétaires,

gestionnaires publics...). L'intérêt déjà souligné par rapport aux services écosystémiques, notamment en ville dense, est renforcé par l'approche globale plus systémique et intégrant les notions de trames vertes et bleues. On aborde alors de plein pied le projet urbain et la discipline d'urbanisme. Les pistes d'analyses concernent alors les potentialités spatiales, les cohérences fonctionnelles et les évolutions réglementaires.

Les analyses sur les potentialités interrogent différents aspects spatiaux : Quels seraient les espaces stratégiques pour le développement de ces murs, rues et cours végétalisés ? Quels rôles dans un processus de trames vertes ? Quelles sont les disponibilités ou potentialités en murs et toitures et quels sont du coup les acteurs concernés ? Nous réaliserons sur les 2 villes des cartes de potentiel brut puis nous les affinerons en prenant en compte les contraintes et les types de propriétaires.

Les bases de données et le SIG de l'APUR permettent déjà d'évaluer des potentialités à l'échelle de Paris. En croisant les données physiques, les fichiers des propriétaires et les bases de données spécifiques qui recensent l'ensemble des équipements publics et privés, il est possible de produire des cartographies de l'ensemble des supports verticaux capables d'accueillir de la nature, en connaissant leur statut foncier.

Ces cartes pourront servir de base aux choix des lieux d'expérimentation et de mettre en place des partenariats avec leurs propriétaires. Par exemple, les murs de clôture des groupes scolaires situés entre une cour d'école et une rue représentent dans Paris des linéaires très importants. Comment peuvent-ils contribuer à créer des formes de continuités végétales en relation avec des plantations d'alignements sur rue ou des cours plantées ? Répondre à cette questions pourrait permettre d'intégrer à la fois dans le PLU de Paris de nouvelles dispositions règlementaires et dans les cahiers de charge des projets architecturaux, de nouvelles recommandations. Un travail a commencé partiellement avec des recensements des morphologies architecturales et des diagnostics des cadastres dans un arrondissement de Paris (UMR LGP, UMR CESCO et DLH de Paris).

La cohérence fonctionnelle interpelle, elle, les scénarios de verdissement en fonction des contraintes techniques, des représentations, des ambiances mais aussi des continuités biologiques et des cycles. L'approche 3D entre toitures-murs-rues-espaces verts n'a jamais encore été tentée alors qu'elle serait une piste nouvelle pour une végétalisation plus continue. Elle devra alors inclure d'autres variables comme l'ensoleillement ou les distances entre éléments végétalisables.

L'évolution réglementaire peut être importante compte tenu de la vision de plus en plus partagée de la disparition de la voiture en ville-centre. Les espaces récupérés peuvent prendre une tout autre forme, comme c'est le cas dans certaines rues de Nantes où de grands bacs de plantes ont pris place ou bien à Toulouse où un projet de boulevard repoussera toutes les places de parking pour installer un corridor écologique. Il peut ressortir de notre travail des recommandations ou des prescriptions dans les PLU métropolitains (par exemple à partir de 2016 avec la loi sur le Grand Paris) ou des orientations des aides municipales (similaires aux aides aux ravalements des logements sociaux).

Phase F : Elaboration d'une valorisation ciblée à l'endroit des acteurs de la ville = tâche 9

La valorisation principale de notre recherche et développement sera la diffusion et le transfert des connaissances scientifiques auprès des acteurs opérationnels et professionnels de terrain. Cette action s'appuie sur la contribution de l'association Plante&Cité qui réalisera une synthèse globale des résultats et des outils d'aide à la

décision sous forme de fiches techniques. Ces outils seront disponibles en ligne sur la plateforme informatique de Plante&Cité (réseau des professionnels des espaces verts), et seront également diffusés auprès des réseaux professionnels en architecture et urbanisme. Nous incluons dans cette démarche la réalisation d'un ouvrage guide à l'endroit des gestionnaires de la ville (voir par exemple l'ouvrage « Trames vertes urbaines » publié par Le Moniteur Ed. sous la direction de P. Clergeau et N. Blanc).

c. L'organisation du projet

i. Les responsables et les partenaires impliqués dans les tâches

Chacune des tâches implique une pluridisciplinarité et tous les masters ou post-docs demandés seront codirigés.

Tâche 0 : Animation scientifique et administrative

Durée = tout le programme

Partenaire responsable :

UMR7204 CESCO (MNHN)

-**Philippe Clergeau** (PR, 5%)

Le projet est bâti sur 3 ans et des réunions générales de tous les chercheurs seront programmées tous les six mois. Cependant les exigences d'une co-construction autour des mises au point des prototypes impliqueront un plus grand nombre de réunions en début de programme. Nous ne nous interdisons pas des passages de chercheurs d'une tâche à l'autre (par intérêt ou compétence).

Tâche 1 : Etat de l'art et synthèse des connaissances

Durée = 10 mois, livraison à T10

Partenaire responsable :

UMR CESCO (MNHN)

Post doc (100%) sous la co-direction de CESCO-MNHN (**Philippe Clergeau** PR, 5%) et IESS-Paris 6 (Luc Abbadie PR, 5%)

Partenaires impliqués :

Tous les participants au programme

Tâche 2 : Fonctionnements de la biodiversité liée à végétalisation en ville dense

Durée = 30 mois, début T04, livraison à T34

Partenaire responsable :

UMR CESCO (MNHN)

-**Nathalie Machon** (PR, 20%) étude des communautés végétales spontanées, suivis des pieds d'arbres, fonctionnement en métapopulations

-Philippe Clergeau (PR, 10%) étude du drift aérien, ornithochorie, peuplements animaux

Partenaires impliqués :

TOPAGER

-Frédéric Madre (5%) suivis des végétations sur les murs, analyse de l'entomofaune

UMR IESS (UPMC)

-Lise Dupont (MC, 30%) biologie moléculaire et génétique des populations de vers de terre, diversité des microorganismes du sol.

Autres partenaires extérieurs et acteurs associés:

Collaboration prévue avec les Services Voiries et Espaces Verts de la Ville de Paris et de Nantes

Tâche 3 : Fonctionnements biochimique et abiotique des végétalisations en murs et rues

Durée = 30 mois, livraison à T34

Partenaire responsable :

UMR IESS (UPMC)

-**Luc Abbadie** (PR, 10 %) études des vitesses de croissance, photosynthèses, échanges d'eau et de CO₂ avec l'atmosphère, importance des stress hydriques éventuels, potentiel de transpiration, origine du carbone, des nutriments assimilés, de l'eau, la dynamique du carbone et des nutriments des sols de pieds d'arbres, des murs.

-Sébastien Barot (DR, 5%) diversité microbienne des sols, fonctionnement et dynamique des communautés végétales.

Partenaires impliqués :

IRSTV :

-Marjorie Musy (IR, 5%) thermographie des murs et étude des ensoleillements, APUR

-Julien Bigorne (5%) analyse thermographique des bâtiments parisiens végétalisés

Autres partenaires extérieurs et acteurs associés:

Collaboration prévue avec les Services Voiries et Espaces Verts de la Ville de Paris et de Nantes, la Direction de l'Urbanisme de Paris.

Tâche 4 : Evaluation des contraintes économiques, techniques et réglementaires

Durée = 6 mois, début T06, livraison à T12

Partenaire responsable :

Agence XLGD

-**Xavier Lagurgue** (architecte, 10%) inventaire de la réglementation technique (règles de l'art) , du cadre réglementaire et économique général, des règles de mitoyenneté.

Partenaires impliqués :

IRSTV

-Marjorie Musy (IR 5%) étude des contraintes et potentiels vis-à-vis du confort dans les espaces et de l'énergétique des bâtiments.

APUR

-Christiane Blancot (architecte, 2%) contribution aux règles réglementaires et techniques liées au PLU, analyse des contraintes liées aux fonctionnements des ouvrages d'assainissement et équipements publics.

UMR LGP

-Cédissia About de Chastenot (architecte 5%) définition des éléments réglementaires relevant des procédures de la Ville de Paris

Plante&Cité

-Olivier Damas (Chargé d'étude 3%) retour des gestionnaires sur les murs végétalisés (enquêtes 2012)

Autres partenaires extérieurs et acteurs associés:

Collaboration prévue avec la Direction Urbanisme, la direction du Logement et de l'Habitat de Paris,

Tâche 5 : Evaluation des appréciations citoyennes

Durée = 14 mois, début T04, livraison à T18

Partenaire responsable :

UMR LADYSS

-**Richard Raymond** (25%) Mise au point des questionnaires d'enquêtes ; suivi des stages ; traitement des données et analyses

-Laurent Simon (15%) Echantillonnage spatial des enquêtes ; suivi des analyses spatiales sous SIG ; analyse des données

Partenaires impliqués :

UMR LGP

-Pierre Pech (10%) Préparation de la grille d'entretien, réalisation d'entretiens, élaboration d'une base de données, élaboration de typologies des enjeux.

Plante&Cité

-Olivier Damas (2%) retour perceptions des élus, gestionnaires et usagers suite à l'enquête 2012.

UMR CESCO

-Nathalie Machon (5%) sciences participatives

Tâche 6 : Conception de prototypes de végétalisation

Durée = 24 mois, livraison à T34

Partenaires responsables :

Agence XLGD

-**Xavier Lagurgue** (15%) conduite des réflexions sur enduits, substrats, stockages de l'eau, architectures, conception prototype

TOPAGER

-Frédéric Madre (5%) réflexions sur le choix des végétaux, murs productifs, irrigations ...

Partenaires impliqués :

Tous les partenaires du projet

Tâche 7 : Mise en place des expérimentations et gestion écologique

Durée = 24 mois, livraison à T34

Partenaires responsables :

TOPAGER

Frédéric Madre (15%) Gestion du projet expérimental, suivi technique et scientifique des installations, réalisation des prototypes et suivi de la gestion écologique.

XLGD

Xavier Lagurgue (5%) suivi technique des installations d'un point de vue architectural

Partenaires impliqués :

UMR LGP

Pierre Pech (PR, 5%) mise en place de capteurs, évaluation des conditions hygrométriques, analyse des conditions pédologiques, suivi de végétaux significatifs et de leur état.

UMR CESCO

Nathalie Machon (5%) suivi des mises en place des végétaux, dynamique des communautés végétales spontanées

UMR IESS

Luc Abbadie (3%) fonctionnement biogéochimique des couverts végétaux et des sols des pieds d'arbres, des trottoirs et des murs expérimentaux.

IRSTV

-Marjorie Musy (5%) thermographie avant-après des prototypes de murs

Autres partenaires extérieurs et acteurs associés:

Collaboration prévue avec Ecole du Breuil et les services des villes de Nantes et de Paris

Tâche 8 : Evaluation des potentialités urbaines et fonctionnement attendu dans un projet urbain

Durée = 30 mois, début T04, livraison à T34

Partenaire responsable :

APUR

-**Christiane Blancot (20%)** conduite des cartographies factuelles et prospectives.

Organisation spatiale, 3D, écologie du paysage, trame verte, intégration PLU/SRCE

Partenaires impliqués :

UMR LGP

-Pierre Pech (10%) Exploration des habitats supports, minéraux et granulométriques, potentialités géographiques et morphologie urbaine

-Cédissia About de Chastenot (15%) : Exploration des potentialités de végétalisation à l'échelle de la parcelle en relation avec son statut réglementaire, foncier et des modes d'occupation.

-Laurent Simon (5%) : analyse spatiale des données

UMR CESCO

-Philippe Clergeau (5%) fonctionnement des trames vertes urbaines, qualité des corridors écologiques, prise en compte des distances de dispersion des espèces

Autres partenaires extérieurs et acteurs associés:

Collaboration prévue avec les directions de la Ville de Paris : la DEVE (agence de l'écologie urbaine et service en charge des aménagements), la DU, la DVD, la DPE et l'école du Breuil pour les expérimentations. Pour Nantes, services des Espaces verts.

Tâche 9 : Elaboration d'une valorisation ciblée à l'endroit des acteurs de la ville

Durée = 10 mois, début T26, livraison à T36

Partenaires responsables :

Plante&Cité

- **Olivier Damas (10%)** réalisation et encadrement des réalisations fiche action, presse, site internet ; Médiations et relations réseaux d'acteurs ; organisation logistique du colloque de restitution

UMR CESCO

-**Philippe Clergeau (5%)** direction de l'ouvrage final, organisation scientifique du colloque de restitution

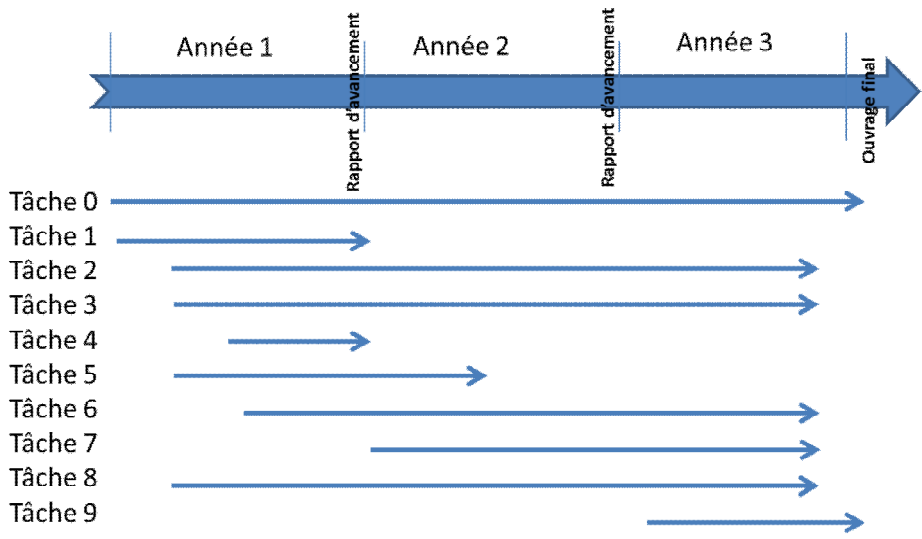
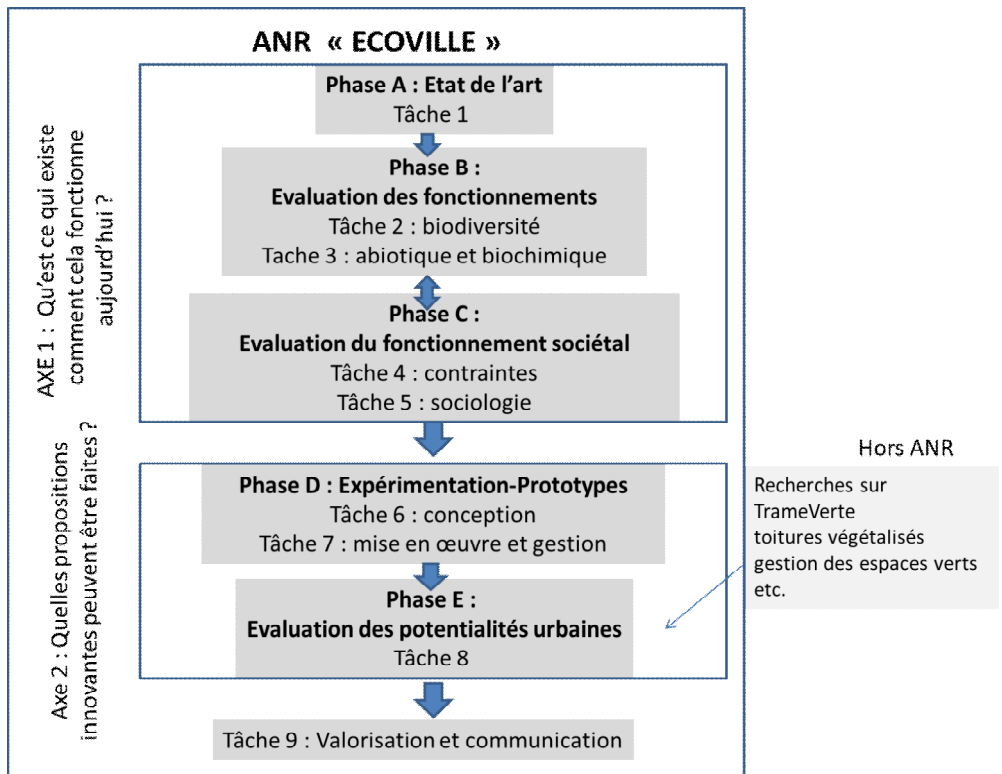
Partenaires impliqués :

Tous les partenaires du projet

ii. Les liens et l'échéancier des tâches

Il y a une interrelation entre les tâches et la succession logique des travaux qui doit permettre la co-construction des propositions d'innovations en connaissance de cause.

Il y aura un rapport intermédiaire chaque année et un rendu final sous forme d'ouvrage complet des résultats à la fin du programme (T36).



d. Les partenaires

Les partenaires peuvent être appréciés directement par leurs compétences et leur production quant au sujet des végétalisations des bâtiments. L'idée d'un consortium important est surtout une nécessité de complémentarité des approches déjà à l'œuvre depuis quelques années, ou plus récemment, chez chaque partenaire et de faire participer chacun aux propositions d'expérimentation. L'originalité du travail réside aussi dans l'intégration public-privé dans toutes les démarches amont comme opérationnelles.

→ Des laboratoires de recherche

Partenaire 1 : L'UMR CESCO. Laboratoire du Muséum ayant déjà une longue expérience des analyses en écologie urbaine et plus récemment en socio-écosystèmes

Partenaire 2 : L'UMR LADYSS. Laboratoire de l'Université Paris1 impliqué dans de nombreuses recherches en géographie physique et humaine concernant la ville.

Partenaire 3 : L'UMR IESS. Laboratoire de l'Université Paris6 (UPMC) spécialisé dans les fonctionnements environnementaux et notamment les cycles biophysiques et biochimiques.

Partenaire 4 : L'UMR LGP. Laboratoire de l'Université Paris1 de géographie physique très impliqué dans les recherches appliquées à la gestion des territoires (infrastructures notamment).

Partenaire 8 : L'Institut de Recherche en Sciences et Techniques de la Ville. Institut nantais (15 établissements) conduisant et fédérant des recherches sur l'environnement physique urbain et la gestion durable de la ville, compétences notamment en ambiances urbaines.

→ Des entreprises d'architecture ou de paysagiste

Partenaire 5 : L'Agence « XLGD architectures ». Créée en 1995, l'agence franco-autrichienne est spécialisée dans la conception bioclimatique et la qualité environnementale. Impliquée dans différents programmes de recherche elle développe plusieurs projets « d'habitat artificiel » pour la faune et la flore en ville et en milieu marin.

Partenaire 6 : L'entreprise TOPAGER, jeune entreprise innovante en relation avec des organismes de recherche sur des projets de potagers et de refuge de biodiversité en milieu urbain, notamment sur bâtiment.

→ Des associations (agence d'urbanisme et plateforme technique)

Partenaire 7 : L'Atelier parisien d'urbanisme (APUR). L'APUR est Agence d'urbanisme de la ville de Paris.

Partenaire 9 : L'association Plante&Cité (Angers) est le centre technique national pour les professionnels des espaces verts qui conduit des études et anime un large réseau d'acteurs de la ville.

Des collaborations seront effectives avec les services municipaux de Paris (notamment B. Viel et P. Jacob de la Direction des Espaces Verts, J. Nayet de la

Direction du Logement et de l'Habitat et J. Milki à la Direction de l'Urbanisme) et Nantes (notamment R. Perrocheau et J. Soignon du Service de l'Environnement et des Espaces Verts).

Notre consortium a déjà développé plusieurs collaborations avec des pays étrangers (Suède, UK, Canada) sur cette thématique et envisage des contacts nouveaux en Suisse avec la Haute école du paysage, d'ingénierie et architecture de Genève et l'association Plante&Cité Suisse.

3. Valorisation et impact de la proposition

La valorisation du programme sera organisée en trois objectifs :

-un travail académique de publications scientifiques nationales et internationales dans les différentes disciplines concernées.

-une diffusion et un transfert des connaissances scientifique auprès des acteurs opérationnels et professionnels de terrain avec fiches techniques et ouvrage final (voir tâche 9).

-une implication dans les projets de réglementation aussi bien au niveau municipal (par exemple discussion pour des inscriptions dans les PLU) que national. Nous sommes plusieurs consultants auprès du ministère pour les projets de « Nature en ville » et nous pourrions argumenter de nos résultats. Nous pourrions également aider à la justification des aides financières pour les ravalements (service logement sociaux et habitat) ou pour les requalifications urbaines (service voirie et urbanisme).

Enfin les entreprises impliquées dans le projet soulignent l'intérêt de dépôt d'éventuels brevets suite aux expérimentations sur des prototypes.

Ces éléments d'accompagnement méthodologique et d'aide à la décision s'attacheront à répondre aux questions suivantes :

- Quel est l'état des lieux actuel des formes de végétalisation : caractérisation du spontané/plantée, techniques d'implantations, perception/appréciation par les usagers, leurs fonctionnements écologiques, agronomiques et biochimiques ?
- Quels services écologiques apportent ces végétalisations ?
- Quelles innovations techniques et leviers d'action pour développer la nature, le cadre de vie sur les trottoirs et les façades, des synergies de services (ralentissement des eaux pluviales, production végétale) tout en garantissant l'intégrité des infrastructures et les usages urbains du quotidien ?
- Quels éléments d'encadrement pour rendre possible ces solutions dans la planification urbaine : diagnostics multi-scalaires des possibilités de végétalisation, réglementations, intégration aux principes de continuité écologique ?

4. Références citées

-Ahern, J. 2007 Green infrastructure for cities: the spatial dimension. In cities of the future: towards integrated sustainable water and landscape management, Novotny V. and Brown P. ed., IWA Publishers, London.

-Blanc, N., Cohen, M., Glatron, S. 2007 Quel rôle jouent les paysages végétaux dans les politiques urbaines ? , In Terrason D. (Eds), De la connaissance des paysages à l'action paysagère, Ed.QUAE.

- Bozonnet, E., Musy, M., Calmet, I., Rodriguez, F., 2013. Modeling methods to assess urban fluxes and heat island mitigation measures from street to city scale. *Int. J. Low-Carbon Tech.*
- Chiquet, C., Dover, J.W., Mitchell, P., 2012. Birds and the urban environment: the value of green walls. *Urban Ecosystems* 1-10.
- Chu, L.M., Cheng, C.Y., 2010. Living architecture vertical planting on façade walls in concrete jungles. *RILEM Proceedings* 73, 269-279.
- Grimmond, C.S.B., Cleugh, H.A., Oke, T.R., 1991. An objective urban heat storage model and its comparison with other schemes. *Atmospheric Environment* 25, 311-326.
- Mentens, J., Raes, D., Hermy, M., 2006. Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? *Landscape and urban planning*, 77, 217-226.
- Boudes P., Colombert M., 2012. *Adaptation aux changements climatiques et trames vertes : quels enjeux pour la ville?* Verigo ed., Paris

- Carter T. L., Rasmussen C.T. 2006 Hydrologic behavior of vegetated roofs. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* 42, 1261-74.
- Cheng, C.Y., Cheung, K., Chu, L.M., 2010. Thermal performance of a vegetated cladding system on façade walls. *Building and Environment* 45:1779-1787.
- Clergeau P, Blanc N., 2013 *Trames vertes urbaine*. Le Moniteur.
- Clergeau P. 2007 *Une écologie du paysage urbain*. Ed. Apogée. Rennes.
- Djedjig R. 2013 *Impacts des enveloppes végétales à l'interface bâtiment microclimat urbain*. Thèse de Doctorat, Université de La Rochelle.
- Huntley, B., Collingham, Y. C., Willis, S. G., Green, R. E. 2008 Potential impacts of climatic change on European breeding birds. *PloS One* 3, e1439.
- Madre, F., Machon, N., Clergeau, P., Vergnes, A. (soumis). Building biodiversity: vegetated façades as habitats for spider and beetle communities. *Urban Ecosystems*.
- Madre, F., Vergnes, A., Machon, N., Clergeau, P. (2013). A comparison of 3 types of green roof as habitats for arthropods. *Ecological Engineering*, 57, 109-117.
- Madre, F., Vergnes, A., Machon, N., Clergeau, P. 2014. Green roofs as habitats for wild plant species in urban landscapes: first insights from a large-scale sampling. *Landscape and Urban Planning* 122, 100-107.
- Malys L., Musy M., Inard C. 2014 A hydrothermal model to assess the impact of green walls on urban microclimate and building energy consumption, *Building and Environment* 73, 187-197.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT 2005 *Ecosystems and human well-being, Biodiversity synthesis*, World resources institute, Washington D.C.
- Mimet A., Pellissier V., Quenol H, Roze F., Dubreuil V. & Aguejdad R. 2009 Urbanisation induces early flowering: evidences from *Platanus acerifolia* and *Prunus cerasus*. *International Journal of Biometeorology*. Vol. 53, 3, 187-198.
- Musy M. coord. 2014 *Une ville verte, le rôle du végétal en ville*. Quae ed.
- Noël, F., N. Machon, A. Robert 2013. Integrating demographic and genetic effects of connections on the viability of an endangered plant in a highly fragmented habitat. *Biol. Conservation*. 158: 167–174
- Parmesan C. et coll. 1999 Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming. *Nature* 399:579-583.
- Penone, C., Machon, N., Julliard, R. & Le Viol, I. 2012 Do railway edges provide functional connectivity for plant communities in an urban context? *Biological Conservation*, 148: 126-133.
- Rankovic A., Pacteau C. & Abbadie L. 2012. Services écosystémiques et adaptation urbaine interscalaire au changement climatique : un essai d'articulation. *VertigO – la revue électronique en sciences de l'environnement*. Hors série 12, 25 p.
- Senecal G., ST Laurent D. 1999 *Le programme Eco-quartier de la ville de Montréal, une innovation en évolution*, Rapport INRS-Urbanisation, 71, Montréal.
- Shashua-Bar, Limor, Ioannis X Tsiros, Milo E Hoffman. 2010 A modeling study for evaluating passive cooling scenarios in urban streets with trees. Case study: Athens, Greece. *Building and Environment* 45: 2798-2807.
- Shwartz A., Cosquer A., Jaillon A., Piron A, Julliard R., Raymond R., Simon L., Prévot-Julliard A.C. 2012 *Urban Biodiversity, City-Dwellers and Conservation: How Does an Outdoor Activity Day Affect the Human-Nature Relationship?* *PLoS ONE* 7(6).
- Shwartz A., Turbé, A., Simon, L., and Julliard, R. 2014. Enhancing urban biodiversity and its influence on city-dwellers: an experiment. *Biological Conservation*. 171 (2014) p82-90.

- Tzoulas K., Korpela K., Venn S., Yli-Pelkonen V., Kazlierczka A., Niemala J. & James P. 2007 Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: A literature review. *Landscape and Urban Planning*, vol. 81, 167-178.
- Wania A. 2007 Urban vegetation – detection and function evaluation for air quality assessment, Phd report, Université Louis Pasteur, Starsbourg.