

Impacts avérés de la végétalisation des toitures

Le présent document recense les principaux travaux effectués sur les toitures végétalisées après expérimentations ainsi que des documents plus généraux examinant les bénéfices avérés de ce procédé technique.

Notons qu'il s'agit d'un document non exhaustif. Lorsqu'aucune étude ne confirme les estimations, les bénéfices envisagés sont uniquement listés. Enfin, certaines études ne sont pas étudiées en détails du fait de leur complexité technique mais les thématiques observées ont été soulignées.

La synthèse bibliographique a été réalisée selon une liste des impacts positifs envisagés de la végétalisation des toitures structurées comme suit :

1. Apports généraux	3
2. Gestion des eaux pluviales	3
a. Protection supérieure à l'étanchéité.....	3
b. Rétention, réduction du ruissellement (limitation et retard du rejet des eaux pluviales) ...	3
<i>Eviter la surcharge des stations de traitement.....</i>	4
<i>Retarder le rejet des eaux pluviales</i>	4
c. Réutilisation de l'eau de pluie	4
d. Filtration	4
3. Thermie	5
a. Réduction de la température ambiante	5
<i>Grâce à l'évapotranspiration des végétaux</i>	5
<i>Absorption d'une partie des rayonnements.....</i>	5
<i>Echanges d'air et ventilation naturelle due aux arbres et la répétition de strates hétérogènes entre ombre et soleil.....</i>	5
b. Amélioration du confort thermique été/hiver par limitation du flux thermique	5
4. Durée de vie des infrastructures	6
5. Qualité de l'air	6
a. Humidification de l'air ambiant	6
b. Filtration, dépollution.....	6
c. Fixation du CO ₂ et des poussières	6
d. Production d'oxygène	6
6. Confort visuel.....	6
a. Restitution d'espaces verts en toiture	6
b. Intégration dans le paysage	6
7. Confort acoustique	6

8. Urbanisme durable	7
a. Réduction de l'îlot de chaleur urbain	7
b. Equilibre minéral/végétal par compensation des CES	7
<i>Coefficient de Biotope introduit dans le PLU de Paris</i>	7
<i>Pourcentage de végétalisation imposés à Grenoble</i>	7
c. Protection et valorisation du patrimoine.....	7
d. Optimisation de l'utilisation des toitures en ville.....	7
e. Contribution à la variété des ambiances urbaines	7
f. Renforcement des continuités végétales et préservation de la biodiversité (notamment si la végétalisation n'est pas mono spécifique).....	7
g. Rôle des documents d'urbanisme.....	7
<i>Favoriser la végétalisation</i>	7
<i>Identifier le patrimoine végétal à valoriser</i>	8
9. Aspects sociaux et économiques	8
a. Création d'emplois dans ce secteur (conception, maintenant des toitures végétales).....	8
b. Economie d'énergie.....	8
c. Santé et cadre de vie	8
d. Interactions sociales	8
Annexes	9
Tableaux de synthèses bibliographiques extraits du rapport de BANTING et al, 2005	9
Recensement de projets mettant en œuvre la technique des toitures végétales	9
Références de sites Internet sur ce thème.....	9
BIBLIOGRAPHIE	17

1. Apports généraux

Le rapport dirigé par S. Peck (1999) sur les toitures végétalisées et jardins verticaux au Canada est un document très complet qui précise tous les impacts positifs envisagés des toitures végétales. Lorsque des données existent, elles viennent étayer son propos. La troisième partie de ce rapport est donc particulièrement intéressante ici.

De la même façon, le rapport réalisé par l'organisation Livingroofs (associée à Ecologyconsultancy, 2004) pour le compte de Sustainable Eastside (projet de renouvellement urbain à Birmingham, UK) souligne tous les impacts positifs estimés des toitures végétales. Les données existantes issues d'études principalement britanniques sont présentées.

2. Gestion des eaux pluviales

a. Protection supérieure à l'étanchéité

b. Rétention, réduction du ruissellement (limitation et retard du rejet des eaux pluviales)

[Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, 2007]

Présentation des résultats de l'étude ARIA menée à Champs-sur-Marne.

[Centre Scientifique et Technique de la Construction, 2007]

Présentation des résultats d'une étude menée de 2002 à 2004 en Belgique.

[La Métro, 2008]

D'après Livingroofs.org, en fonction du complexe de végétation, les toitures végétales peuvent retenir 70 à 80% des eaux pluviales en été et entre 20 et 40% en hiver.

[NICHOLAUS et at., 2005]

Etude expérimentale recensant les effets des toitures végétales en termes d'absorption des eaux de pluie selon la nature, la pente et la profondeur de la toiture.

[Groupement Coopératif Matériaux, juillet 2007]

« La rétention des eaux de pluie par un toit végétalisé varie énormément en fonction des conditions climatiques saisonnières locales, de la nature du substrat, de celle de la toiture, et du type de végétation plantée. »

« La toiture verte exerce deux actions sur l'égouttage:– elle diminue la quantité totale d'eau pluviale rejetée et réduit en même temps le débit de pointe des averses. »

« On constate que la toiture traditionnelle évacue un débit de pointe de l'ordre de 0,84 l/min.m², alors que la toiture verte à végétation intensive, avec une couche de substrat de 20 cm, évacue seulement 0,22 l/min.m². Ce processus démarre en outre plus d'un quart d'heure plus tard que sur la toiture nue. »

« Sur une période d'environ dix mois, la toiture traditionnelle évacue 837 l/m², alors que les toitures à végétation intensive munies d'un substrat de 14 cm et de 20 cm évacuent respectivement 439 et 412 l/m², soit une réduction de l'ordre de 50%. Durant certaines périodes, les toitures vertes ne débitent même pas d'eau du tout, comme par exemple du 30 août 2002 au 7 octobre 2002 et du 13 mars 2003 au 16 mai 2003. »

« La capacité de rétention en eau de la toiture, qui est mise en avant par les fabricants, voit ses avantages très atténués en région méditerranéenne où les pluies sont souvent violentes, saturant très rapidement les toitures. L'ordre de grandeur des besoins de rétention des eaux d'orages dans la région PACA se situe entre 80 et 110 l/m² de surface imperméabilisée (moyenne des résultats de calculs sur plusieurs projets à Gardanne, Marseille, Pont Saint Esprit, Bouc bel air, Isle sur la Sorgue...). »

[MENTENS et al., 2006]

Etude belge sur la réduction de l'écoulement des eaux de pluie grâce aux toitures végétales, basée notamment sur des résultats de nombreuses études antérieures.

Eviter la surcharge des stations de traitement

[ALE Grenoble, 2007]

« Une toiture végétalisée retient 40 à 90% des précipitations annuelles (40 à 60% dans le cas d'une végétalisation extensive, 60 à 90% dans le cas d'une végétalisation intensive). Dans le cas d'un réseau d'assainissement unitaire, le volume des eaux à traiter en stations d'épuration est réduit d'autant. »

Retarder le rejet des eaux pluviales

[BASS et al., 2001]

Cette étude fournit des données en termes de

- rétention et réduction du ruissellement (résultats d'expérimentations menées à Berlin et Portland)
- et de réduction des coûts de traitement des eaux pluviales.

[MORAN et al., 2005]

Cette étude dispense les résultats d'expérimentations menées à Portland, à l'Université du Michigan, à l'Université de Pennsylvanie et à Goldsboro (Caroline du Nord) en termes de quantité d'eau absorbée et de temps de retardement de l'écoulement des eaux pluviales.

[La Métro, 2008]

D'après Livingroofs.org, lors d'une averse orageuse alors que 200 litres d'eau tombaient sur un toit végétalisé de surface 18m² seuls 15% s'écoulaient sur le sol.

c. Réutilisation de l'eau de pluie

[Groupement Coopératif Matériaux, 2007]

« L'eau de pluie qui percole au travers d'une toiture verte entre en contact avec les différentes couches qui la constituent. Ce faisant, elle se charge de matières, organiques ou non, en suspension ou en solution, qui sont de nature à colorer l'eau (teinte brun jaune, par exemple). Le type de matières susceptibles de pénétrer dans l'eau et leur concentration dépendent de la composition de la toiture verte et des substances présentes dans le substrat. Cet «enrichissement» de l'eau diffère par conséquent en fonction du type de toiture. Il ne s'agit apparemment pas d'un phénomène transitoire (l'enrichissement ne se produit pas seulement au début): toute utilisation de ce type d'eau nécessitera, le cas échéant, un traitement approprié. Si l'eau doit être utilisée pour la chasse de WC, la lessive ou le nettoyage, il y a lieu d'avoir recours à un filtre de charbon actif afin d'en corriger la couleur et de réduire la charge en matières organiques. Précisons toutefois qu'un tel traitement n'offre pas une garantie d'épuration totale et ne permet en aucune manière d'obtenir de l'eau potable ! Au cas où d'autres usages sont envisagés, il convient de recourir à un traitement approprié. »

d. Filtration

[KOHLENER M., SCHMIDT M., 2003]

Cette étude fournit des données sur la qualité de l'eau d'écoulement en sorte de toiture (pH, rétention des polluants...).

Exemple : le pH des eaux écoulées est relevé par le substrat de la toiture mais reste inférieur à celui des eaux écoulées d'une toiture non végétalisée.

3. Thermie

[La Métro, 2008]

La réduction des pics de température dans la membrane d'étanchéité est de l'ordre de 30°C par rapport à une toiture nue pouvant atteindre 70°C et de 20° par rapport à une toiture couverte de gravier. La température moyenne des membranes d'étanchéité est ainsi réduite de 8°C par rapport à une toiture nue et de 4°C par rapport à une toiture en gravier.

Il y aurait un décalage de 2 à 3h entre les pics de température extérieure et intérieure.

[NIACHOU et al, 2001]

Cette étude présente des expérimentations menées en Grèce concernant les impacts de toitures végétalisées sur les économies d'énergie. Les données concernent la température des toitures végétalisées et le confort thermique intérieur et sont présentées en comparaison avec des toitures nues testées dans le même temps.

[TAKAKURA et al., 2000]

Etude menée au Japon, à la fois expérimentale et de modélisation sur les effets thermiques des toits verts selon le type de couverture.

a. Réduction de la température ambiante

Grâce à l'évapotranspiration des végétaux

[ONMURA et al., 2001]

Rapport de recherches effectuées au Japon sur les effets des toitures en pelouse : la réduction de la température y est notamment expliquée par l'évapotranspiration des végétaux.

Absorption d'une partie des rayonnements

Echanges d'air et ventilation naturelle due aux arbres et la répétition de strates hétérogènes entre ombre et soleil

b. Amélioration du confort thermique été/hiver par limitation du flux thermique

[La Métro, Communauté 2008]

Selon livingroofs.org, une étude comparative a montré que les toitures végétales permettaient de réduire la chaleur totale pénétrant dans les bâtiments de 85% en journée. A l'inverse, la toiture permet de réduire la quantité de chaleur échappée durant la nuit de 70%.

[ALE Grenoble, 2007]

« En été, la végétalisation, par effet combiné du substrat et de la végétation, permet d'abaisser la température sous étanchéité de 35°C par rapport à une étanchéité nue et de réduire le flux thermique en toiture de 75%. Le confort d'été dans les derniers étages du bâtiment s'en trouve largement amélioré (jusqu'à -3°C), et les éventuelles consommations de climatisation réduites. »

[BASS et al., 2001]

Cette étude fournit les résultats de travaux menés en 1980 dans l'Oregon sur la température de la toiture (en surface). Exemple : lorsque certaines surfaces non végétalisées pouvaient dépasser les 50°C en juillet, les surfaces végétalisées restaient à 25°C.

Sont également cités :

- les travaux de MINKE, WITTER (1982) sur l'isolation obtenue par végétalisation en comparaison avec l'isolation en laine de roche
- les travaux de LIESECKE (1989) sur la température intérieure des bâtiments dont les toits sont végétalisés.

[LIU K., BASKARAN B., 2003]

Les données reposent ici sur des études menées principalement à Ottawa mais aussi sur les expérimentations de Chicago et Portland.

[LIU K., BASKARAN B., 2005]

Cette étude présente des résultats en matière de réduction des flux de chaleur par le toit et de la réduction de consommation énergétique que cela engendre, notamment en été. Les expérimentations ont été menées en 2002-2003 dans la ville de Toronto.

[La Métro, 2008]

Selon Livingroofs.org, les économies de fuel domestique pour le chauffage peuvent atteindre 2L/m²/an.

Les toitures végétales réduisent l'énergie transmise de 70 à 90% par rapport à une toiture nue.

4. Durée de vie des infrastructures

[La Métro, 2008]

« Les étanchéités voient leur durée de vie double car elles sont protégées des chocs thermiques. »

5. Qualité de l'air

a. Humidification de l'air ambiant

b. Filtration, dépollution

[LIU K., BASKARAN B., 2003]

Cette étude cite des travaux menés à Francfort sur la dépollution de l'air par végétalisation.

[MORAN et al., 2005]

L'hypothèse de la dépollution de l'air est débattue suite aux expérimentations menées à Goldsboro en Caroline du Nord dont les résultats sur ce thème sont peu concluants.

[La Métro, 2008]

Citant les travaux de DUNNET et KINGSBURY (2005), la Métro indique que la végétalisation des toitures peut capter jusqu'à 95% du cadmium, du cuivre et du plomb et jusqu'à 16% du zinc. De plus, elles peuvent fixer les pollens dont certains sont allergènes.

D'après une étude de ROSENWEIG (2006), 1 m² de toiture en gazon capture jusqu'à 0,2 kg de particules en suspension par jour.

c. Fixation du CO₂ et des poussières

d. Production d'oxygène

6. Confort visuel

a. Restitution d'espaces verts en toiture

b. Intégration dans le paysage

7. Confort acoustique

[ALE Grenoble, 2007]

« Le substrat de culture permet d'atténuer les bruits d'impacts (isolement de 15 à 20dB) ; la végétation et le substrat permettent de réduire les bruits aériens (isolement de 5dB). »

[La Métro, 2008]

Selon les cas (substrat sec ou gorgé d'eau), une toiture végétale permet de gagner 15 à 20 dB par rapport à une toiture classique (données CTSB).

8. Urbanisme durable

a. Réduction de l'îlot de chaleur urbain

[La Métro, 2008]

Citant une étude de KONOPACKI et al. (2001), la Métro indique qu'à Toronto, la végétalisation de 6% des toits permettrait de réduire la température de la ville de 1 à 2°C.

Le laboratoire américain Lawrence Berkeley Institute Laboratory estime que la végétalisation de 15% des toits d'une ville permettrait de réduire la température moyenne de 3,3°C.

b. Equilibre minéral/végétal par compensation des CES

Coefficient de Biotope introduit dans le PLU de Paris

Pourcentage de végétalisation imposés à Grenoble

c. Protection et valorisation du patrimoine

d. Optimisation de l'utilisation des toitures en ville

e. Contribution à la variété des ambiances urbaines

f. Renforcement des continuités végétales et préservation de la biodiversité (notamment si la végétalisation n'est pas mono spécifique)

[La Métro, 2008]

En Suisse depuis 2006, le canton de Bâle demande à ce que tous les nouveaux bâtiments à toit plat soient végétalisés en intégrant la notion de biodiversité.

Près de Zurich, un toit végétalisé depuis 1914 abrite quelques 175 espèces différentes.

g. Rôle des documents d'urbanisme

Favoriser la végétalisation

[LIU K., BASKARAN B., 2003]

Ce document mentionne qu'à Portland (Oregon, USA) un bonus de densité est accordé aux nouvelles constructions si 60% de la surface de la toiture sont végétalisés.

[APUR, 2005]

Dans son nouveau PLU, la ville de Paris introduit la notion de coefficient de biotope. Il favorise la végétalisation dans tous les projets urbains et prend en compte la couverture végétale préexistante dans la zone. Les constructeurs sont encouragés à réaliser un maximum de végétalisation en pleine terre mais si ce n'est pas possible cela se reporte sur la végétalisation du bâti (avec des coefficients permettant une équivalence des volumes végétalisés).

[LIU, K., 2004]

En Allemagne, des programmes subventionnent les coûts d'installation de toitures végétalisées à hauteur de 50 à 100% sur les projets privés.

Au Canada, il n'existe pas de programme spécifique mais les toitures végétalisées sont souvent incluses dans les programmes subventionnés d'efficacité énergétique ou de qualité environnementale.

[La Métro, 2008]

« A Berlin, 60% des dépenses de végétalisation sont prises en charge par la commune ».

« A Stuttgart, les tois végétalisés sont obligatoires pour tout nouveau bâtiment industriel à toit plat »

La ville de Bâle subventionne les toits végétalisés à 40%.

[ADIVET (site Internet)]

Depuis décembre 2006 :

- le Conseil Général des Hauts de Seine subventionne le montant hors taxe des travaux de végétalisation à hauteur de 60 euros/m², avec un plafond fixé à 48 euros/m².

- le Conseil Régional d'Ile-de-France prend en charge 50% de la dépense, plafonnée à 45 euros/m², dans le cadre de travaux de constructions neuves ou de rénovation des toitures. Le taux de subvention attribué pour une opération ne peut excéder 80%.

[SCET, 2009]

Le règlement de la zone d'activités de Landacres (Nord-Pas-de-Calais) bonifie le CES en fonction de la végétalisation des toitures.

Identifier le patrimoine végétal à valoriser

9. Aspects sociaux et économiques

[LIU, K., 2004]

Cette étude évoque les aspects suivants: création d'emploi, apports psychiques, participation/vie sociale.

a. Création d'emplois dans ce secteur (conception, maintenance des toitures végétales)

[La Métro, 2008]

Le CSTB considère que le marché potentiel des toitures végétalisées en France représente 22 millions de m².

b. Economie d'énergie

[La Métro, 2008]

Les toitures végétales permettent d'économiser 42€/m² en énergie électrique par rapport à un toit en gravier (référence à une étude de KOLHER, 2004).

c. Santé et cadre de vie

d. Interactions sociales

Annexes

Tableaux de synthèses bibliographiques extraits du rapport de BANTING et al, 2005

Recensement de projets mettant en œuvre la technique des toitures végétales

Références de sites Internet sur ce thème

Table 2.1 – Summary of key findings from literature review related to heat transfer, energy use and green roofs

Study	Location	Monitoring	Qualitative/Quantitative Changes due to green roof	Study recommendations	Conversion to costs or benefits
Kohler et al. (2002)	Berlin, Germany	As early as 1984 surface temperatures of a green roof were monitored. The surface temp; shadowed surface temp of gravel; shadowed surface temp of green roof; temp of substrate; ambient air temp. were all measured	Green roof reduced surface temp. but also more importantly reduced the max. temp. amplitude by half.	The complex composition of green roofs represents a decisive additional buffer zone; the lowering roof temp. and added insulation effect are undeniably positive for indoor climate; the durability of flat roof is increased significantly	
Sailor (1995)	Los Angeles	Three-dimensional meteorological simulation of urban surface characteristics i.e. increasing albedo and or vegetative cover.	Increasing the albedo over the downtown L.A. area by 0.14 decreased summer time temperatures by 1.5°C. Increasing the vegetative cover by using green roofs showed similar results.	Preliminary evidence suggests that albedo and vegetation increases would benefit cities by reducing air temp. and energy demand. A thorough cost-benefit analysis for modifying urban surfaces for other geographical locations is needed; feasibility issues for large scale implementation must be resolved	A reduction of 1°C in summer time afternoon air temp for L.A. corresponds to a 2% energy savings
Del Barrio (1998)	Mediterranean region	Mathematical model	Green roofs do not act as cooling devices but as insulation, reducing the heat flux through the roof	Soil density, thickness and moisture content are identified as relevant for green roof design parameters.	
Eumorfopoulou (1998)	Athens, Greece	Mathematical model to determine the thermal behaviour of planted roofs and the thermal protection	Of the total solar radiation absorbed by the planted roof, 27% is reflected, 60% is absorbed by the plants and the soil through evaporation and 13% is transmitted into the soils; Evidently, the insulation value is in both the plants and the layer of substrates.	Green roofs block solar radiation, reduce daily temp. variations and thermal ranges between winter and summer; planted roofs contribute to the thermal protection of a building, but do not replace the insulation layer.	

Source : BANTING et al, Report on the Environmental Benefits and Costs of Green Roof Technology for the City of Toronto, Octobre 2005.

Table 2.1 – Summary of key findings from literature review related to heat transfer, energy use and green roofs (continued)

Study	Location	Monitoring	Qualitative/Quantitative Changes due to green roof	Study recommendations	Conversion to costs or benefits
Ommura et al.(2001)	Japan	Field measurements; wind tunnel experiment; numerical calculations.	The evaporative cooling effect of a roof lawn garden showed a 50% reduction in heat flux in the rooms below the garden. A reduction in surface temperature from 60 to 30°C during day time led to the conclusion that evaporative component is an important role in reducing the heat flux.	Evaporation was dependent on the moisture content in the lawn	
Liu and Baskaran (2003); Bass and Baskaran (2003)	Ottawa, Canada	A green roof and a reference bituminous roof were instrumented to allow direct comparison of thermal performance	The green roof was more effective at reducing heat gain than heat loss. The green roof reduced temperature fluctuations and also modified heat flow through the roofing system by more than 75%	During the observation period, the green roof reduced 95% of the heat gain and 26% of the heat loss as compared to the reference roof. Then it is expected that its effectiveness will be more significant in warmer regions	A reduction from 6.0-7.5 kWh/day to less than 1.5kWh/day which corresponds to a 75% reduction and the potential for savings.
Alcazar and Bass, (2005)	Madrid, Spain	The energy performance of three roofing systems is compared. Thermal and optical characteristics are monitored ESP-r energy simulation software is used to compare annual energy consumption	The study show that the installation of a green roof in the building provides savings in annual and peak energy consumption; The green roof resulted in a total annual energy consumption reduction of 1% with a 0.5 % reduction in the heating season and a 6 % reduction in the cooling season.	This reduction was not homogeneous throughout the building. Below the third storey, under the roof, no savings were achieved. .	A total annual energy reduction of 1%
Bass et al. (2002)	Toronto, Canada	A mathematical model (MC2) was used to quantify the mitigation of the urban heat Island	Low level air temperatures were simulated for 48 hours in June 2001. With a 50% green roof coverage a 1°C reduction in low level air temperatures was observed. Irrigation of the green roofs produced a cooling of 2°C	Further research is needed in this area. The model operated well, however, unexpectedly low reductions in air temperature may have been caused by unknown underlying assumptions.	

Source : BANTING et al, Report on the Environmental Benefits and Costs of Green Roof Technology for the City of Toronto, Octobre 2005.

Table 2.6 – Summary of key findings from a literature review related to stormwater and green roofs

Study	Location	Monitoring System and Duration	Water Quality Sampling	Flow Interval	Events	Qualitative Changes	Quantitative Changes	Costs/ Benefits	Recommendations
Jennings, et al, 2002	North Carolina	Runoff quantity and quality; Sigma 900Max TM automatic samplers; 5 months	Tritest, Inc. Lab	5 min.	6	yes	yes		Plant species
Hutchinson, et al, 2002, 2003	Portland, Oregon	Runoff quantity and quality analysis; Sigma model 950 bubbler-type flow meter; 15 months	Bureau of Environmental Services			yes	yes		Strategic selection of soils/growing media
Rowe, et al, 2002, 2003	Michigan	Slope and substrate depth influence on runoff quantity; Model TE525WS tipping bucket rain gauges; 2 months		5 min.	24		yes		
Graham and Kim, 2003	Vancouver	Evaluating the stormwater management benefits; water balance Modmet					yes		Retrofit to counteract climate change and land use densification, to restore watershed
Cunning, 2001	Winnipeg	Runoff quantity analysis; Kulching's Rational Formula; 5-, 20- and 50- yr storms					yes	yes	Durability of green roofing needs research; plant list needed
Monterusso, 2003	Michigan	Species selection and stormwater runoff quantity analysis; autoregressive type 1(AR1) error structure	Michigan State University Soil Testing Lab		4	yes	yes		Research fertilizer needs
VanWoert, 2002, 2003	Michigan	Runoff quantity analysis; Model TE525WS tipping bucket rain gauges; 430 days		5 min.	162 days		yes		Sedum
Liu, 2002, 2003	Eastview	Runoff quantity; Campbell Scientific CR23X data acquisition system; 13 months		15 min.			yes	yes	Research thermal efficiency in winter
Liu, 2000, 2002	Ottawa	Runoff quantity; tipping bucket mechanism; HP VXI data acquisition system; 1 year		15 min.			yes		
TRCA 2005	Toronto	Rainfall; runoff volume and water quality, soil	TRCA	15	23	Yes	Yes		Seed green roof

Source : BANTING et al, Report on the Environmental Benefits and Costs of Green Roof Technology for the City of Toronto, Octobre 2005.

Table 2.7 – Summary of key findings from literature review related to air quality and green roofs

Study	Location	Monitoring	Qualitative / Quantitative changes	Costs / Benefits	Recommendations
Kats. 2003	California				
Yok and Sia, 2005	Singapore	Temperature of surface, substrate, air; HOBO data loggers, infrared radiometer (Thermo tracer TH7102WX, NEC Japan); HOBO Weather Station for humidity, solar radiation, wind speed and rainfall; air quality measured with annular denuder system (URG, Chapel Hill, NC, USA), particle counter (TSI, St. Paul, MN, USA) and air quality with an aerosol sampler (Airmetrics, Eugene, OR) and to measure black carbon mass Aethalometer (Magee Scientific)	Reduction of surface temperatures by 15-20 degrees C; visible light (glare) from green roofs lowered by 12-56%; air quality improvements noted in sulphur dioxide by 37%; nitrous acid by 21%; but nitric acid increased by 48%; PM 2.5 and PM 10 increased (possibly from re-suspended chips related to gravel ballast and bare spots on green roof) and particle number concentration decreased by 6% on green roofs.	Benefits to building owner, building occupants, building neighbours, community and country regarding energy savings, improved air quality and subsequent health improvements	Application of green roofs in urban areas for reasons such as: reduced ambient air temperature, improved air quality and reduced glare from buildings
Currie, 2005	Toronto	UFORE – Urban Forest Effects Model from Northeast Forest Service, Research Station, Syracuse, New York–quantified vegetation effects on air contaminants based on one year of data from Environment Canada’s 3 local weather stations in Toronto	Air contaminant reductions between varying levels of vegetation in one neighbourhood in Toronto over a one year period	Externality values (\$) by UFORE model \$43,106.00 worth of contaminants removed when grass was added on typical flat roofs; in addition to \$46,740.00 from shrubs at grade and \$103, 176.00 from trees at grade (within the same neighbourhood).	Recommends the application of urban vegetation at grade and/or elevated surfaces to mitigate air pollution with resulting population health benefits.

Source : BANTING et al, Report on the Environmental Benefits and Costs of Green Roof Technology for the City of Toronto, Octobre 2005.

Table 3.1
Growing medium depth required for various types of vegetation
on different types of green roofs and
Annual average water retention as percentage of rainfall
for selected types of green roofs

Type of green roofs and vegetation	Depth required for growing medium (cm)	Water retention – annual average (% of total rainfall)
Extensive green roofs		
Moss-sedum	2 to 6	40 to 45 %
Sedum-moss-herbaceous plants	6 to 10	50 %
Sedum-herbaceous-grass plants	10 to 15	55 %
Grass-herbaceous plants	15 to 20	60 %
Simple (semi) intensive green roofs		
Grass-herbaceous plants	12 to 35	See note below
Wild shrubs, coppices	12 to 50	
Coppices and shrubs	15 to 50	
Coppices	20 to 100	
Intensive green roofs		
Lawn	15 to 35	See note below
Low-lying shrubs and coppices	15 to 40	
Medium height shrubs and coppices	20 to 50	
Tall shrubs and coppices	35 to 70	
Large bushes and small trees	60 to 125	
Medium-size trees	100 to 200	
Large trees	150 to 200	

Notes to Table 3.1: Water retention for semi-intensive and intensive green roofs will depend on area coverage. For individual areas of greening retention will be greater than that for extensive roofs and as high as 90% or more. The retention percentages are based on an average rainfall of between 650-800 mm. The City of Toronto average annual rainfall falls into this category. In drier regions the retention percentage will be higher and in wetter regions the retention percentage will be lower.

Source : BANTING et al, Report on the Environmental Benefits and Costs of Green Roof Technology for the City of Toronto, Octobre 2005.

FRANCE

La plupart de ces projets vont avancer parallèlement à ECCLAIRA et ne disposent donc pas encore de données de résultats.

- **Projet TVGEP (2010-2012)**

Porté par le CSTB et ENPC, en partenariat avec la Direction régionale de l'équipement (IDF) et le Laboratoire régional de l'Ouest parisien ainsi que les Conseil Général des Hauts-de-Seine.

Il porte sur des toitures végétalisées extensives et vise à identifier leurs bénéfices et limites quant à la gestion des eaux pluviales, notamment dans les deuxième et troisième phases.

- **Thèse de doctorat : Impacts des toitures végétalisées extensives sur la qualité des eaux pluviales**, Julie Guilloux, CETE de l'Est.

Informations : <http://www.lse.inpl-nancy.fr/Personnel/pperso/guilloux.html>

- **Projet VegDUD, ANR Villes durables (2010-2013)**

Axé sur les impacts de la végétation en milieu urbain, ce travail ne se limite pas à la question de toitures.

<http://leptiab.univ-larochelle.fr/Projet-ANR-Villes-Durables-VegDUD.html>

ALLEMAGNE

Projets menés :

Potsdamer Platz Project (<http://www.potsdamerplatz.de/en/ecology.html>)

Building of the Institute of Physics in Berlin Adlershof
(<http://www.gebaeudekuehlung.de/en/projekt.html>)

Marco Schmidt, professeur à l'Université Technique de Berlin a été impliqué dans ces deux projets. Contact : marco.schmidt@tu-berlin.de

- ses publications : <http://www.gebaeudekuehlung.de/>

- et sa participation au Congrès de la Banque Mondiale à Marseille en en 2009 sur les constructions vertes (travail sur les eaux de pluie) :

<http://siteresources.worldbank.org/INTURBANDEVELOPMENT/Resources/336387-1256566800920/6505269-1268260567624/Schmidt.pdf>

SITES INTERNET recensant des initiatives dans ce domaine :

- World Green Roof Infrastructure Network <http://www.worldgreenroof.org/>
- International green roof industry's resource and online information portal <http://www.greenroofs.com/>
- International Green Roof Association <http://www.igra-world.com/>
- World Green Roof Congress 2010 (septembre 2010 à Londres) <http://www.worldgreenroofcongress.com/>
- Living roofs, advice, research and promotion of green roof systems for environmental urban regeneration : <http://www.livingroofs.org>
- Association d'industriels nord-américains travaillant dans ce secteur : <http://www.greenroofs.org>
- Centre britannique de recherche sur les toits verts : <http://www.thegreenroofcentre.co.uk>

BIBLIOGRAPHIE

ADIVET (François LASALLE), La nature gagne la toiture, Atelier technique du 17 juin 2008 : "Adaptation au changement climatique et végétalisation du bâti et des espaces publics ", ALE Lyon.

ALE Grenoble, Les bâtiments se mettent au vert, Les dossiers de l'ALE, Dossier n°2, Décembre 2007.

ALE Lyon, La toiture végétale, Dossier technique, Juin 2008.

Atelier d'Urbanisme Parisien (APUR), Développer le végétal à Paris, les nouvelles règles du PLU parisien, Octobre 2005.

BANTING et al, Report on the Environmental Benefits and Costs of Green Roof Technology for the City of Toronto, Octobre 2005.

BASS et al., Evaluating Rooftop and Vertical Gardens as an Adaptation Strategy for Urban Areas, Mars 2001.

BASS et al., Mitigating the Urban Heat Island with Green Roof Infrastructure, 2000.

Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, Contribution des toitures végétalisées au confort urbain, 2007.

Centre Scientifique et Technique de la Construction, Eau de pluie de toitures végétalisées: qualité, rétention et effet retard, Belgique, 2007.

CURIS B., RELANDER J., Gestion de l'eau de pluie et végétalisation des bâtiments, Mémoire de formation continue architecture HQE, session 2007-2008.

Groupement Coopératif Matériaux, EnviroB.A.T Méditerranée, Fiche technique toitures végétalisées - rétention des eaux de pluie, juillet 2007 (*accès restreint*).

KOHLER M., SCHMIDT M., Study of extensive green roofs in Berlin, Part 3, Retention of Contaminants, 2003.

LIU K., BASKARAN B., Thermal performance of green roofs through field evaluation, Canada, 2003.

MENTENS et al., Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century?, *Landscape and Urban Planning* (77), 2006.

MORAN et al., Hydrologic and water quality performance from greenroofs in Goldsboro and Raleigh, North Carolina, 2005

Livingroofs.org (and Ecologyconsultancy) for Sustainable Eastside, Green roofs: benefits and cost implications, Mars 2004.

LIU, K., Sustainable building envelope – garden roof system performance, Canada, 2004.

LIU K., BASKARAN B., Thermal performance of extensive green roofs in cold climate, Canada, 2005.

La Métro, Communauté d'Agglomération Grenoble-Alpes-Métropole, Notice technique sur les toits végétalisés et l'adaptation au changement climatique, 2008.

NIACHOU et al, 2001, Analysis of green roof thermal properties and investigation of its energy performance, *Energy and Buildings* (33, 7) Septembre 2001, Pages 719-729.

NICHOLAUS et at., Green roof stormwater retention : effects of rooftop surface, slope and media depth, Journal of Environmental Quality, 2005.

ONMURA et al., Study on evaporative cooling effect of roof lawn gardens, *Energy and buildings* (33), 2001.

PECK S., KUHN M., Design guideline for green roofs, Canada, 2009.

PECK et al., Greenbacks From Green Roofs: Forging A New Industry In Canada, Status Report On Benefits, Barriers And Opportunities For Green Roof And Vertical Garden Technology Diffusion, 1999.

SCET 2009, Tendances aménagement, Eco-quartiers.

TAKAKURA et al, Cooling effect of greenery cover over a building, *Energy and buildings* (31), 2000.

N.B.

Les documents référencés en **JAUNE** sont accessibles via une simple recherche sur Internet.

Les documents référencés en **BLEU** sont issus de revues scientifiques et consultables grâce à des identifiants spécifiques.

Les documents référencés en **VERT** proviennent d'abonnements auxquels RAEE souscrit (lettre d'information, centre de ressource...).