

Expérimentation Cool Roof

Gymnase Berlemont – Paris 11e
Septembre / Octobre 2017



COOL ROOF

Table des matières

- 1. Origine et justification du projet.**
 - 1.1. Origine du projet**
 - 1.2. Pourquoi un Cool Roof ?**
 - 1.3. Pourquoi le gymnase Berlemont ?**
 - 1.4. Gains espérés et moyens de mesure**
- 2. Mise en oeuvre et analyse**
 - 2.1. Instrumentation**
 - 2.2 Comparaison des températures extérieures**
 - a. Impact sur la température en surface**
 - b. Impact sur la température sous bac**
- 3. Conclusion et Perspectives**

Annexe - photos

1. Origine et justification du projet

1.1. Origine du projet

La Mairie de Paris s'est fixée des objectifs de résilience de la ville en particulier face aux vagues de chaleur qui dégradent le confort des parisiens, la qualité de vie voir la santé, et causent des augmentations de la consommation énergétique liée aux climatiseurs.

De multiples publications (APUR, APC notamment) apportent des recommandations permettant de répondre à ces objectifs, notamment l'expérimentation de revêtements réfléchissants :

*« (les) toitures parisiennes mériteraient de faire l'objet d'expérimentation en particulier sur les toits terrasses sur lesquels des **matériaux réfléchissants** pourraient être testés »*

pgm de recherche EPICEA cahier #1, p311

Par ailleurs, de telles expérimentations - appelée « cool roof » - ont déjà été menées à grande échelle dans le monde, comme par exemple à New York (USA)². Cette idée est soutenue par de nombreuses organisations internationales dont le GIEC, C40, R20, Greenpeace, etc.

C'est ainsi que, fin 2016, la Mairie de Paris, représentée par Mme Borie et Mme Le Gall, a accueilli les représentants de l'initiative Cool Roof France, et ont souhaité lancer avec eux une expérimentation de leur innovation sur un premier bâtiment de la ville.

1.2. Pourquoi un Cool Roof ?

Pourquoi se concentrer sur le toit ?

En été, c'est sur le toit que le soleil frappe le plus. La plupart des toits sont absorbantes et mal isolées, les apports de chaleur passent majoritairement par là.

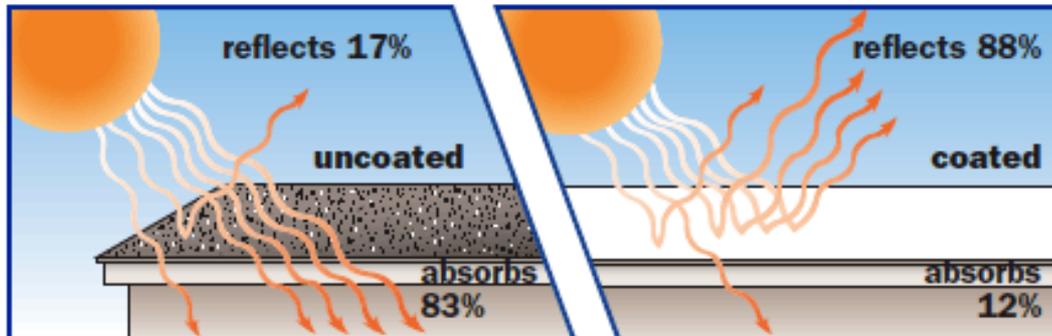
En hiver, les toits sont majoritairement mal isolés, et sont responsables en moyenne de 30% des pertes énergétiques d'un bâtiment (données ADEME).

¹ http://www.apur.org/sites/default/files/documents/ilot_chaleur_urbains_paris_cahier1.pdf

² <https://www.youtube.com/watch?v=EEydVkoi1Z0>

Les « cool roofs », c'est quoi ?

Les Cool Roofs, ou « toitures fraîches » sont des toits blancs qui renvoient la chaleur solaire dans l'espace.



Contrairement à la plupart des toitures existantes qui absorbent la chaleur, les cool roofs sont réfléchissants et émissifs : ils limitent la chaleur intérieure des bâtiments en été (donc les besoins de climatisation), mais aussi la chaleur urbaine à l'extérieur des bâtiments³.

D'après de nombreux chercheurs (dont le GIEC), c'est **une des solutions les plus rapides et moins coûteuses d'adaptation/atténuation du changement climatique**. De multiples études menées sur les climats tempérés concluent à un intérêt du cool roofing pour les économies d'énergie et la lutte contre les îlots de chaleur⁴.

Les Etats-Unis ont adopté depuis longtemps cette solution :

- pour les gros entrepôts et usines : dans 20 états américains, l'installation de couvertures réfléchissantes est obligatoire pour tout bâtiment de plus de 1000m²
- dans les villes : à New York, 6 millions de m² de toitures d'immeubles ont été peintes par les habitants eux-mêmes pour diminuer la température en ville.

Pourquoi la technologie « Cool Roof France » ?

La technologie proposée par Cool Roof France (www.coolroof-france.com) est particulièrement unique et performante, car elle combine réflectance et émissivité (intéressant l'été), et faible conductivité (intéressant notamment l'hiver).

La peinture est de couleur blanche, fabriquée en Europe, respectueuse de l'environnement et inspirée du biomimétisme. Cette peinture est un mélange d'eau, de résine et de micro ballons de silice emplis d'air, la rendant à la fois :

- très réfléchissante : elle renvoie 95% de la chaleur solaire, particulièrement l'été quand le soleil est haut
- thermique : elle limite les transferts de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment

=> [Énergie: Des toits blancs pour faire des économies \(Quimper\) - YouTube](#)

=> [La peinture thermique, ça marche ? - YouTube](#)

³ Vidéo (en anglais) sur le principe du CoolRoof : <https://www.youtube.com/watch?v=B6lZJosA90A&t=3s>

⁴ >>> A Practical Guide to Cool Roofs and Cool Pavements

>>> [Potential benefits of cool roofs on commercial buildings: conserving energy, saving money, and reducing emission of greenhouse gases and air pollutants](#)

>>> [Assessment of the Impact of Cool Roofs in Temperate Climates through a Comparative Experimental Campaign in Outdoor Test Cells](#)

1.3. Pourquoi avoir choisi le gymnase Berlemont ?

3 gymnases avaient été pré-identifiés par la direction de l'architecture de la ville.

Le gymnase Berlemont satisfaisait au mieux à plusieurs critères :

1. Les usagers y ont trop chaud l'été et trop froid l'hiver.
2. L'analyse du bâtiment a conclu à un rôle important du toit (peu isolé) dans ces températures trop hautes ou trop basses
3. Le type de toiture de ce gymnase (aluminium) était particulièrement adapté à une peinture (contrairement à des membranes souples que l'on peut voir sur d'autres gymnases).

Enfin la mairie d'arrondissement et le personnel ont été très réactifs et engagés.

Identification détaillée du bâtiment :

- Adresse : Rue de l'Orillon, Paris 11, métro Belleville
- Surface : 700m²
- Besoin : forte demande d'efficacité thermique chaud et froid
- Chauffage ; Climatisation = néant
- Typologie toiture avant chantier = Bac acier visiblement récent, en parfait état, nécessite nettoyage (encrassé par la pollution)
- Accessibilité du toit : pas de garde-corps ni ligne vie
- Livraison et circulation : monte-charge disponible à l'intérieur du bâtiment et possibilité nacelle sur voie publique.
- Bilan thermique du bâtiment : principales pertes et entrées thermiques estimées : toit 40% ; parois vitrées 30%. En été le toit du gymnase Berlemont est plus exposé au soleil que ses parois, l'effet de la peinture Cool Roof France devrait être positif sur le ressenti de chaleur à l'intérieur, celle-ci entrant a priori principalement par le toit. En hiver la peinture Cool Roof France permettrait de conserver la chaleur dans le bâtiment. Elle n'aurait pas d'effet négatif particulier quant aux éventuels apports solaires car l'effet solaire en hiver est lié à l'angle d'incidence solaire, lequel est faible, d'autant plus que le bâtiment est fortement entouré (immeubles côté sud).

1.4. Gains espérés et moyens de mesure

Quels gains espérer sur le gymnase ?

L'été, le gymnase bénéficiera de gains de confort pouvant atteindre 2°C

L'hiver, la chaleur s'échappera moins vite qu'auparavant en toiture, laissant une température plus chaude à l'intérieur, de l'ordre de 2°C également.

La toiture vieillira moins vite car elle subira moins d'écarts de température.

Comment mesurer ces gains ?

La mesure des gains sera réalisée par une campagne de mesure des températures 1 mois avant et 1 mois après.

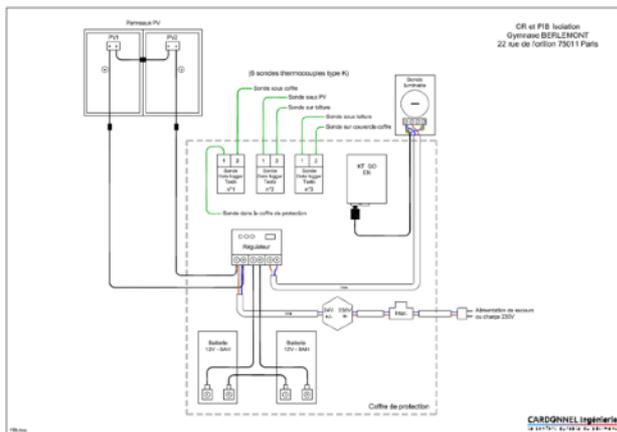
A posteriori, la mesure de température interne, le ressenti, et la consommation d'énergie viendra valider le processus.

2. Mise en œuvre du projet et analyse

2.1. Mise en oeuvre du projet

La toiture du gymnase a été peinte du 25 septembre au 4 octobre 2017 avec de la peinture Cool Roof France, peinture aux propriétés réfléchissantes et isolantes.

Une campagne de mesure a été effectuée sur la toiture du gymnase du 4 septembre au 25 octobre 2017, soit trois semaines avant le début du chantier et trois semaines après la fin du chantier.



Instrumentation : 4 sondes thermocouples de type K et une sonde d'ensoleillement

- Sonde 1.1 : Dans le boîtier électronique : Température de référence
- Sonde 2.1 : Sous le coffre : Température hors flux solaire
- Sonde 1.2 : Sous le panneau photovoltaïque
- Sonde 2.2 : Sur la toiture
- Sonde 3.1 : Sous le bac aluminium
- Sonde 3.2 : Sur le coffre boîtier électronique
- Sonde 4 : A l'intérieur du bâtiment

Fréquence de collecte de données : Toutes les 5 minutes

A noter que ce protocole et la gestion de l'instrumentation ont été sous traités au bureau d'études Cardonnel Ingénierie.

2.2. Comparaisons et analyses des données

L'analyse suivante porte sur les données de températures extérieures, en surface et sous le bac acier.

Les sondes d'ensoleillement et de températures intérieures n'ayant pas fonctionné correctement au cours de l'expérimentation malgré la promesse du sous-traitant de s'en assurer quotidiennement, leurs données n'ont donc pas pu être exploitées.

L'analyse n'en reste pas moins intéressante quant à la pertinence du projet.

La période prise de comparaison est celle de 3 semaines avant l'application de la peinture sur le toit à 3 semaines après la peinture du toit. Ce choix permet d'écarter l'incidence de conditions climatiques.

En effet, on retrouve sur ces deux périodes des températures extérieures similaires à la fois au niveau des données captées en toiture et au niveau des données de Météo France.

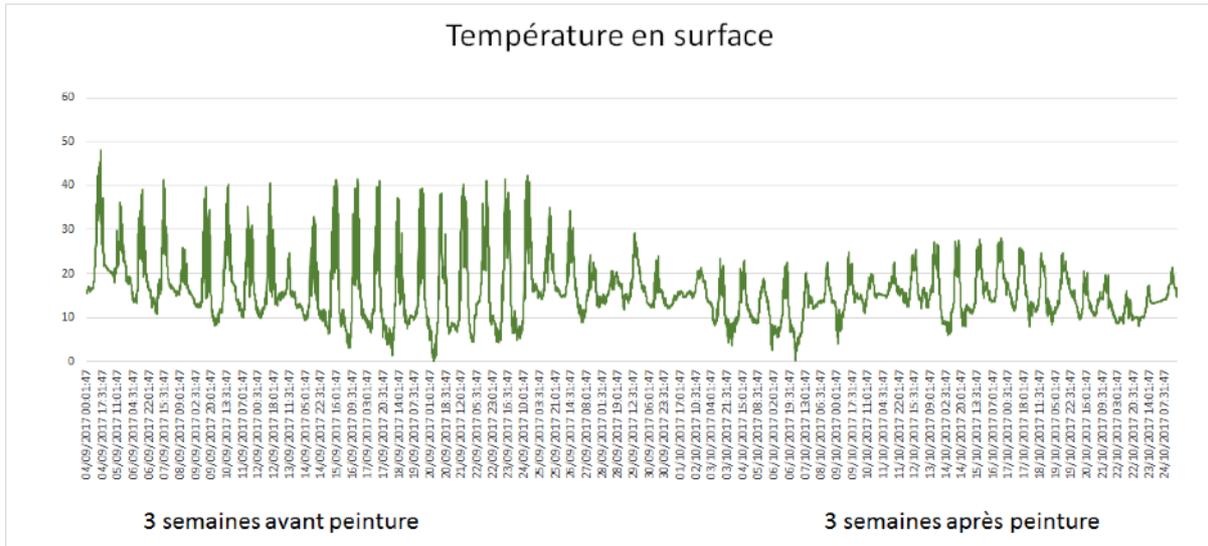
Le tableau 1 compare les températures d'ambiance minimales, maximales et moyennes sur ces deux périodes. Les différences entre chacune de ces valeurs n'excédant pas 1 degré.

		Min	Max	Moyenne
3 semaines avant peinture	Du 4 au 25 septembre	7	25	15.71
3 semaines après peinture	Du 4 au 25 octobre	5.9	25.2	15.62

Tableau 1 - Données de températures Météo France

a. Impact sur la température en surface

Le capteur en surface de toiture (sonde 2.2) permet de comparer les températures avant et après peinture.

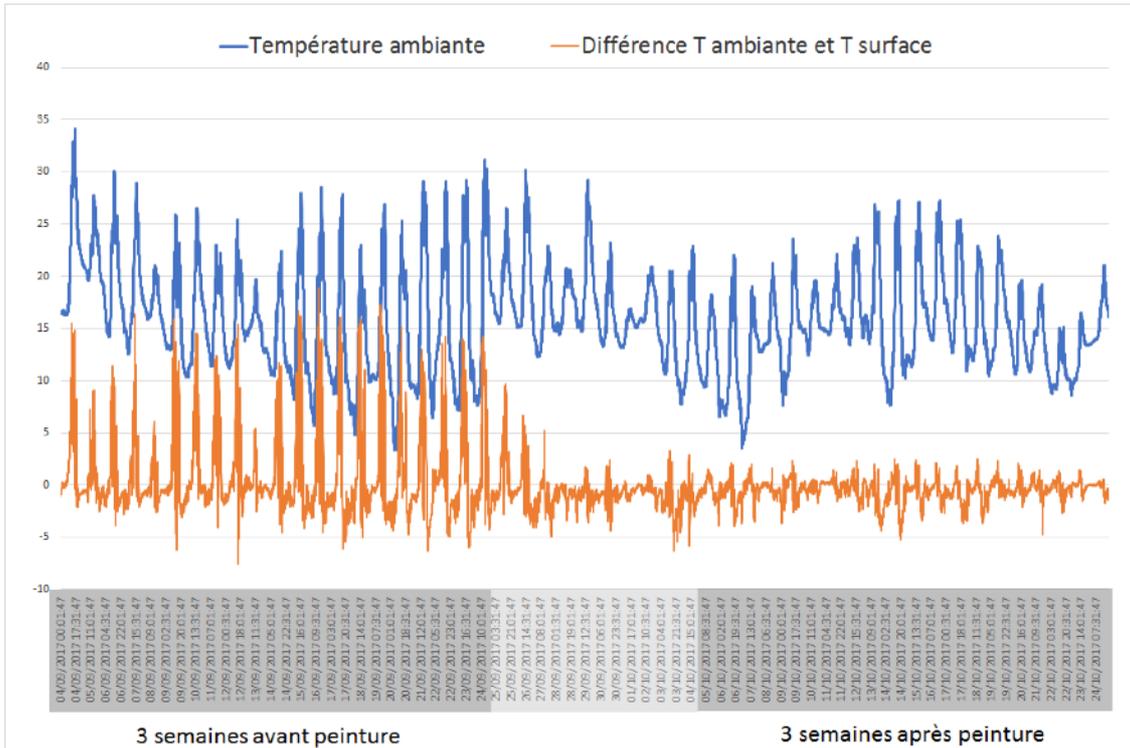


Graph 1 - Température en surface de toiture

Les graphes 1 et 2 nous permettent de constater que pour des températures ambiantes équivalentes (courbe bleue) avant et après pose d'un cool roof, l'écart entre température ambiante et température de surface (courbe orange) est significativement réduit avec la présence d'un cool roof.

Le maximum atteint en surface est réduit de 20°C (48°C avant peinture et 28°C après peinture) avec une réduction moyenne (nuit incluse) de la température en surface de 2,62°C.

L'écart entre température ambiante et température de surface est également réduit, passant de **18,9°C à 2,5°C au maximum.**



Grphe 2 – Comparaison température ambiante et température de surface

Températures de surface	Min	Max	Moyenne
3 semaines avant peinture	0	48	17,07
3 semaines après peinture	0,5	28	14,45
Différence	0,5	20	2,62

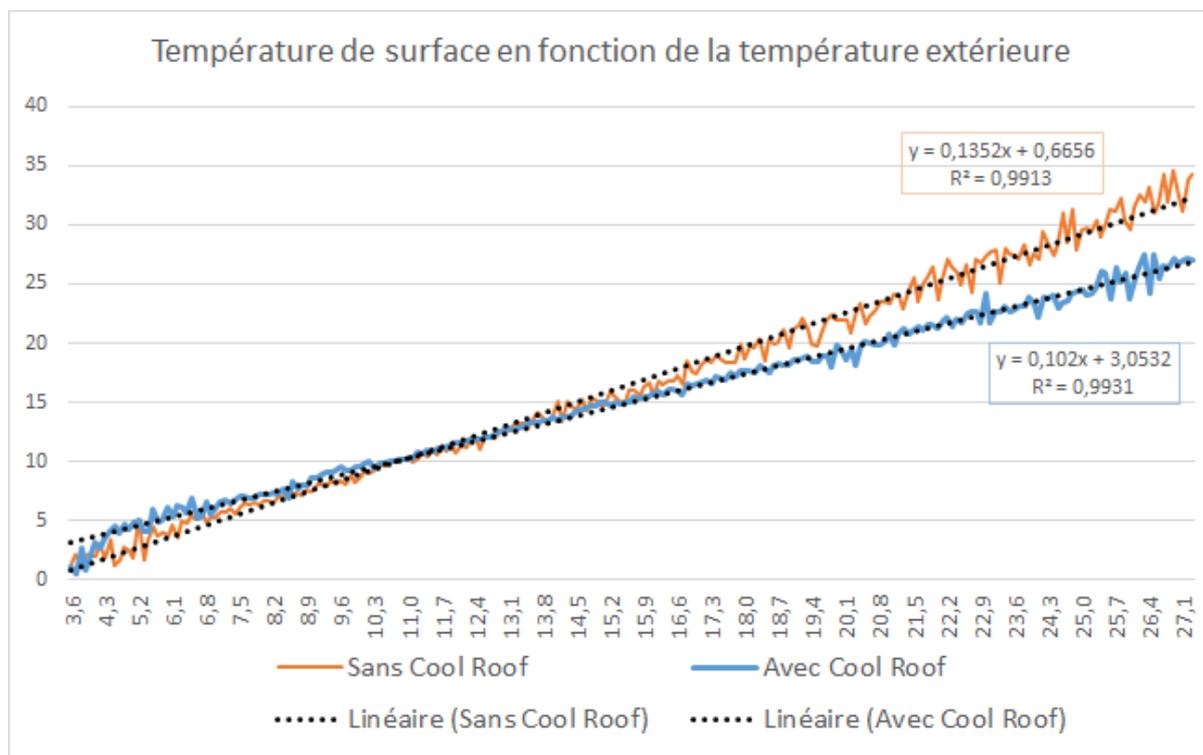
Tableau 2 - Températures de surface

Différence T ambiante et T surface	Min	Max	Moyenne
3 semaines avant peinture	-7,5	18,9	0,93
3 semaines après peinture	-5,2	2,5	-0,46

Tableau 3 - Différence entre température ambiante et température de surface

En linéarisant les résultats obtenus des températures de surface en fonction des températures extérieures on constate bien une évolution moins rapide des températures de

surface sur un cool roof que sur un toit non peint. Plus la température extérieure est élevée plus l'intérêt du cool roof est grand, ce que nous constatons déjà sur des températures faiblement élevées et laisse prévoir de très bons résultats sur les périodes de fortes chaleur en été.



Graph 3 - Température de surface en fonction de la température extérieure

b. impact sur la température sous bac

La sonde en sous face de toiture (sonde 1.3) nous permet d'appréhender l'impact de la pose du cool roof sur le confort thermique du bâtiment.

La conductivité du bac acier présent en toiture étant élevée, les mêmes évolutions de température sont observées avec une efficacité croissante du cool roof avec l'augmentation de la température extérieure.

La température sous bac est réduite de 2,28°C en moyenne avec **diminution de 11,3°C du maximum.**

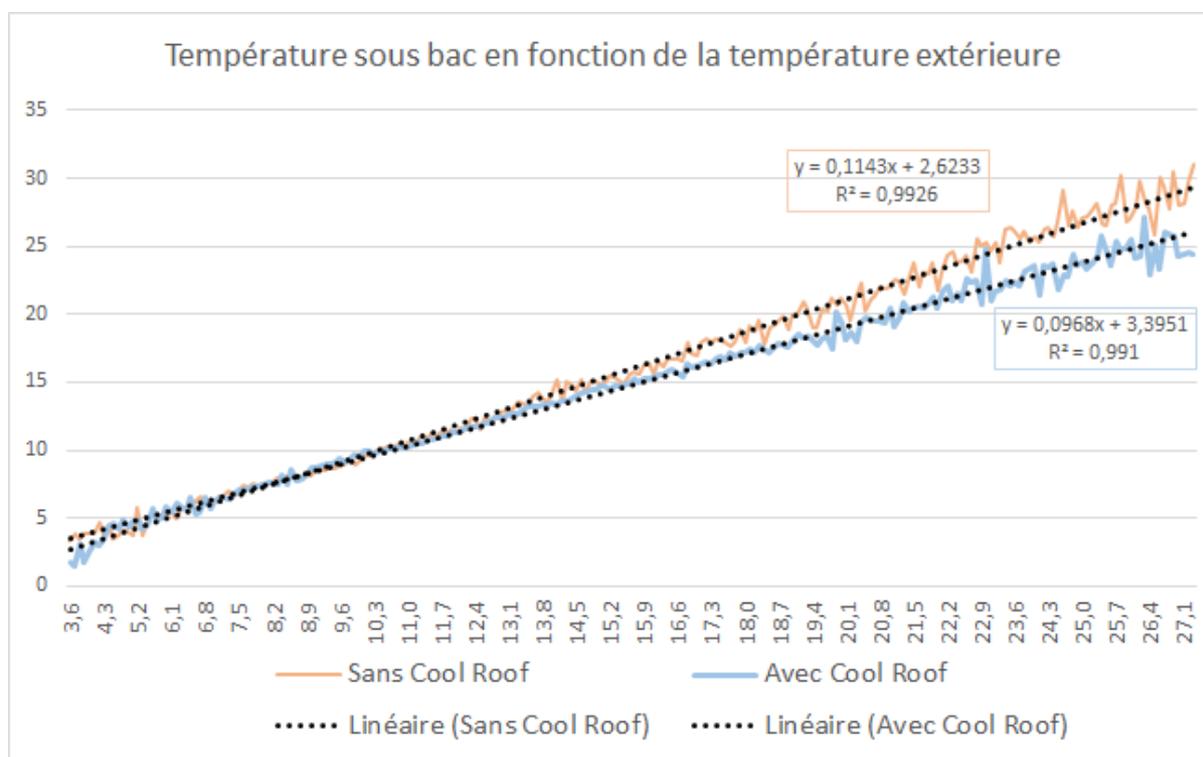
La température de confort ressentie dans un bâtiment est fonction de la température de l'air et de la température des parois (1) sous la formule simplifiée suivante :

$$T_{opérative} = \frac{T_{air} + T_{parois}}{2}$$

En réduisant la température en parois (plafond) on améliore donc le confort thermique à l'intérieur du bâtiment.

Températures sous bac	Min	Max	Moyenne
3 semaines avant peinture	2,1	41,6	16,52
3 semaines après peinture	1,5	30,3	14,24
Différence	0,6	11,3	2,28

Tableau 3 - Données de température sous bac



Graph 4 - Température sous bac en fonction de la température extérieure

3. Conclusion et perspectives

Les données issues de l'expérimentation de la pose d'un cool roof sur le gymnase Berlemont explicitent bien l'impact de ce dernier : **le cool roof a considérablement réduit la température sur et sous le bac peint.**

- Réduction des températures de surfaces de toiture : 2,62°C en moyenne, 20°C au maximum
- Réduction des températures en sous face de toiture : 2,28°C en moyenne, 11°C au maximum

Au vu des résultats obtenus et des températures extérieures modérées pendant la période de l'expérimentation, un impact encore plus important sur le confort thermique est à attendre sur des périodes de plus fortes chaleurs.

Sur quels types de bâtiments pourrait-on envisager d'autres cool roofs ?

La plus-value du cool roof étant surtout en été, on pensera principalement à des bâtiments souffrant particulièrement de la chaleur et/ou climatisés : établissements pour personnes âgées, autres gymnases et salles de sport, cuisines, médiathèques, écoles et crèches, établissements hospitaliers et pharmaceutiques, patinoires, bureaux, etc.

La Mairie de Paris a également un rôle incitatif important pour les autres bâtiments, tertiaires, industriels, souffrant de la chaleur.

Une généralisation des toitures blanches (mais aussi des autres revêtements, de sol notamment) dans un même quartier permettrait également de gagner en température aux alentours des bâtiments (lutte contre les effets d'îlots de chaleur).

Annexes - Photos du projet

