

Réduire l'impact écologique des systèmes d'isolation par l'installation de toitures végétalisées

Depuis la Révolution Industrielle, la température moyenne de la planète a fortement augmenté, 0,21 °C de 1990 à 2010 par exemple, sous l'effet du réchauffement climatique, entraînant des températures plus élevées sur de plus longues durées. [1] Bien qu'une des solutions à celles-ci soit pour certains l'installation de systèmes de climatisation (les ventes ont augmenté de plus de 30% depuis 2018 [2]), une pensée écologique évolue de plus en plus, et des alternatives moins polluantes voient le jour.

L'installation de toitures végétalisées pourrait réduire la dépense énergétique que représentent certains systèmes de climatisation, approximativement 20% de l'électricité totale consommée dans les infrastructures à l'échelle mondiale.[3] Comme exemple, la ville de Singapour, au climat chaud et humide, où certains immeubles à toiture végétalisée sont dépourvus de climatisation.

Représentant un véritable intérêt, que ce soit par leur qualité esthétique, ou par leur rôle d'isolant thermique ou phonique, de plus en plus de communes, entreprises et particuliers choisissent d'investir dans ce genre d'installation, on peut également citer l'Opéra de la Bastille à Paris. Dans une dynamique de transition vers le vert, on se retrouve donc ici face à un véritable **enjeu sociétal**.

Ce sujet nous amène donc à la réflexion suivante :

Les toitures végétalisées peuvent-elles limiter l'impact climatique qu'ont les climatiseurs et les chauffages ? Permettent-elles de répondre aux mêmes besoins que les autres systèmes d'isolation ?

Sommaire :

I- Présentation des toitures végétalisées

- 1) Choix des plantes et facilité d'entretien**
- 2) Qualité, fiabilité et efficacité**
- 3) Coût et marché**
- 4) Modélisation et conception d'une toiture**

II- Etude de l'isolation thermique des toitures

- 1) Objectif**
- 2) Etude de l'évolution temporelle de la température dans la boîte**
- 3) Résultats**
- 4) Analyse et interprétation**

III- Etude de l'isolation phonique des toitures

- 1) Expérimentation**
- 2) Résultats**
- 3) Discussion autour des valeurs obtenues**

I- Présentation des toitures végétalisées

1) Choix des plantes et facilité d'entretien



Adapter les plantes à la région est une nécessité pour l'installation d'une toiture végétalisée.

Par exemple, le sedum acre (famille des Crassulaceae, genre sedum) est un bon choix pour celles-ci car c'est une plante très résistante qui stocke de l'eau dans ses feuilles, ce qui lui permet de survivre à tous types de climats.

Adapter aussi selon l'usage notamment si les plantes ont des fins de consommation telles que les fraises ou les plantes aromatiques comme la menthe.

Enfin, l'intérêt du choix des plantes sera essentiel dans le coût de l'entretien de la toiture végétalisée afin de le réduire au maximum tout en conservant des performances optimales et en répondant aux besoins des usagers.



On estime alors, pour une toiture végétalisée extensive (à épaisseur limitée), une perte de chaleur de 38% [4] en moins que pour une toiture conventionnelle, ce qui permet de réduire la consommation de chauffage. En second lieu, les toitures végétalisées atténuent l'entrée de chaleur en été. En effet, elle est diminuée de 91% sur une toiture végétalisée extensive ce qui permet de réduire la consommation des climatiseurs.

Une toiture végétalisée nécessite un contrôle d'étanchéité une à quatre fois par an. De plus, dans les périodes sèches et en fonction du type de plante, il est parfois nécessaire d'installer un système d'arrosage automatique.

2) Qualité, fiabilité et efficacité

Lorsque l'on compare l'efficacité ou les bénéfices des toitures végétalisées avec celle des climatiseurs et des chauffages, on prend conscience des différents avantages et des limites du système. On les aborde un à un :

- Qualité de la toiture: Du fait de la superficie et de la taille de la structure, le système rend difficile la détection de fuites d'eau. De plus, si jamais cela se produit, le reste du système d'isolation risque d'être endommagé.
- Entretien: Les coûts d'entretien de la toiture sont bien moins importants pour une structure végétalisée, comparée aux systèmes de climatisation. En effet, le prix d'entretien annuel d'une toiture végétalisée peut aller de 5 à 39 € le m² contre 90€ à 150€ pour un système de climatisation. [b][c][d]
- Structure: Le bâtiment doit être capable de soutenir le toit car il présente un poids supplémentaire par rapport à une isolation conventionnelle (80 kg/m²). [e]

3) Coût et marché

A l'échelle de l'installation de systèmes d'isolation sur de grandes structures, l'installation de toitures végétalisées présente un certain intérêt économique.

En effet, pour donner quelques ordres de grandeurs, on situe le prix moyen estimé pour l'installation d'une toiture végétalisée aux alentours de 3 800€ TTC avec plus ou moins 5 à 39€ d'entretien par m² à l'année. [g]

De même, pour l'installation de systèmes de climatisation, on estime globalement 1200€ à 3500€ de pose ([f]) pour un climatiseur monosplit et 5000€ à 8000€ pour un multi-split (plusieurs pièces). En plus de celui-ci un système de chauffage coûtera entre 1500 et 16 000€ à l'installation. Pour ce qui est de l'ordre de l'entretien, un climatiseur coûte de 90 à 150€ par an et de 80 à 170€ pour un système de chauffage. [b][7]

De plus, les toitures végétalisées permettent d'économiser 1,10€/m²/an selon le prix de vente du fuel domestique (données provenant du premier semestre de 2009), 15 à 20% d'économie d'air conditionné et 25% d'économie de climatisation pour un habitat collectif d'un à deux étages de haut. [6]

On se retrouve donc avec un investissement économique important, car la toiture végétalisée doit être nécessairement associée avec les deux autres systèmes, ne se suffisant pas à elle-même. Mais qui présente donc de l'intérêt dans la durée, car c'est par les économies réalisées sur la puissance électrique demandée que la toiture végétalisée brillera.

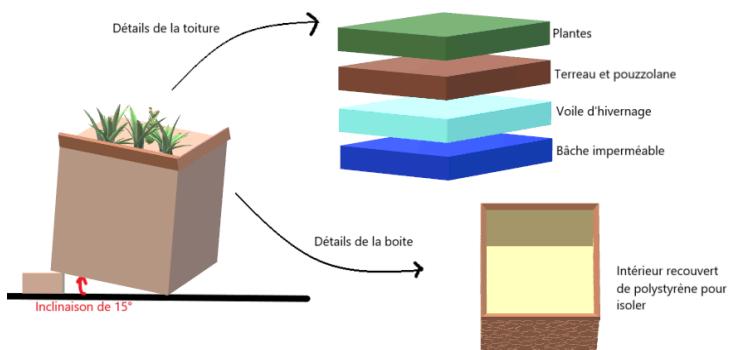
C'est donc bien ici le but de notre étude, car l'on cherche à prouver que l'isolation thermique que représente la toiture est suffisante pour représenter une réelle économie, en plus d'apporter un intérêt esthétique et durable.

4) Modélisation et conception d'une toiture

Pour simuler un bâtiment rudimentaire à isoler par une toiture végétalisée, nous avons construit une boîte en panneaux de copeau de bois (1m x 70cm x 70cm) (OSB), et installé une isolation sommaire à l'aide de polystyrène.

Pour composer la toiture végétalisée, d'abord, une bâche imperméable pour éviter les fuites, ce qui laisse assez de temps aux plantes pour absorber l'eau de pluie. Par dessus, nous avons apposé un voile d'hivernage, visant à éviter la pousse des racines et la détérioration de la toiture. Et enfin, nous avons choisi du terreau et de la pouzzolane, cette dernière apportant un drainage relatif du sol. Du fait qu'elle reposait à l'extérieur. Drainage qui, lui-même, est associée à l'installation en pente de la toiture (approximativement une quinzaine de degrés) permettant un écoulement simple.

Pour ce qui est du choix des plantes, étant donné que notre établissement dispose lui-même d'une toiture végétalisée, nous avons eu la chance d'y prélever directement des tapis de mousse et du sédum.



Néanmoins, certaines villes, comme celle de Rouen, possèdent peu de toitures végétalisées. En effet, le coût élevé de l'installation et les problèmes de fuites apparues dans certaines de ces installations ne mettent pas en confiance les mairies ou les investisseurs [A]. De plus, pour les particuliers, aucune aide financière n'est apportée par la mairie et les réglementations sont parfois compliquées à respecter: on nous a par exemple évoqué une hauteur supplémentaire maximale de 40 cm.

Pourtant, les toitures végétalisées ont tout de même un intérêt majeur dans l'économie d'énergie, grâce à leur caractère isolant thermique.

II- Etude de l'isolation thermique des toitures

1) Objectif

Ici, pour démontrer le caractère isolant de notre toiture, nous avons tenté de mettre en évidence une atténuation des variations des valeurs de températures lors des augmentations ou des diminutions. Nous espérons aussi pouvoir obtenir des températures plus importantes dans la boîte lors de périodes froides, et des températures plus douces lors de périodes chaudes. Ainsi, nous observerons un véritable impact de la toiture sur la régulation thermique de notre milieu.

2) Etude de l'évolution temporelle de la température dans la boîte

Matériel :

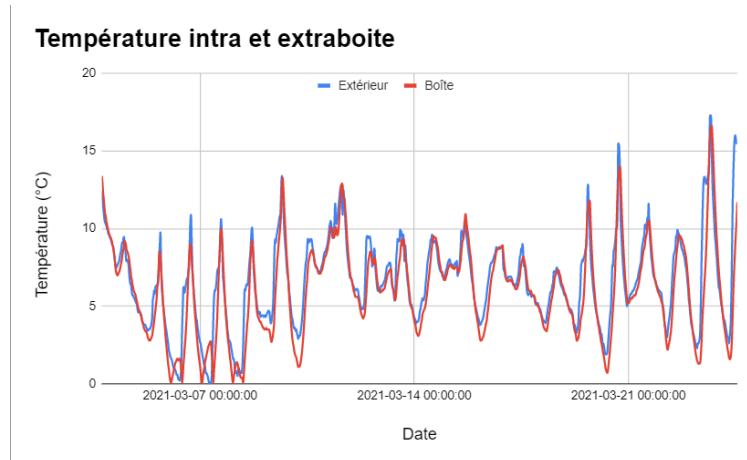
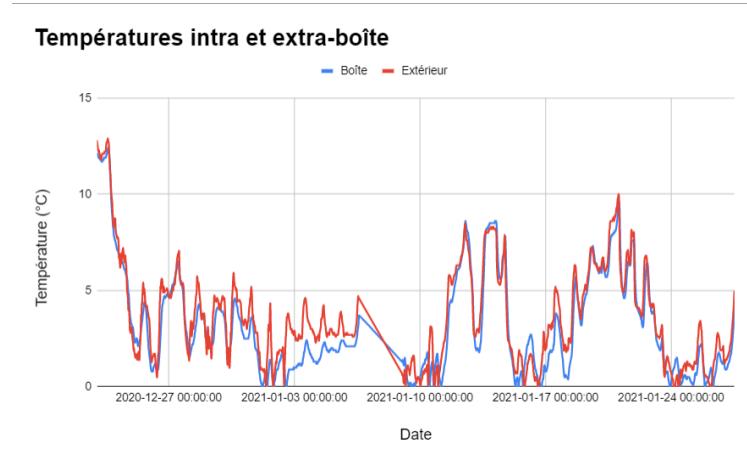
- Panneaux OSB
- Toiture végétalisée (terreau, pouzzolane, plantes , voile d'hivernage, bâche imperméable)
- 2 stations météo
- plantes: *sedum acre*, *leucobryum bowringii* (famille Dicranaceae, genre *Leucobryum*), *sedum Dasypyllyum*, *sedum* de Corée,...



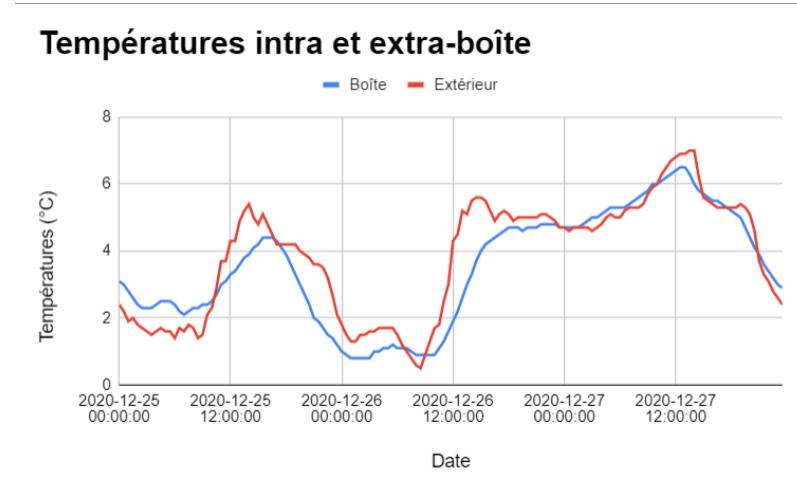


Expérience réalisée : On place une station météo en extérieur, l'autre dans la boîte. Elles mesurent la température, la pression de l'air et l'humidité dans les deux milieux, et ce sur une durée de plusieurs mois. Puis, nous récupérons les valeurs sur une application : House Sense.

3) Résultats



On présente ici deux graphiques, le premier portant sur une étude d'un mois hivernal entier (Janvier). Et le deuxième graphique s'étale sur 15 jours, pour un mois printanier (Mars). Ainsi, nous pouvons donc étudier l'effet de températures plus variées sur la boîte.



4) Analyse et interprétation

Conformément à ce que l'on espérait, nous observons que les variations de températures intra-boîte sont bien moins abruptes que celles de l'extérieur. Elles y oscillent moins rapidement, et les pics de températures sont atténus. On a bien la forme d'isolation thermique recherchée, la seule limite étant que la température n'est pas plus élevée, comme prévu, dans le froid.

Ainsi, l'utilisation de la toiture végétalisée seule semble présenter quelques limites. Bien que certaines infrastructures à zéro émissions se contentent de sa présence, dès lors que la superficie du bâtiment prend une trop grande ampleur, réchauffer celui-ci paraît à la limite de l'inconcevable. L'usage de la toiture végétalisée nécessite alors d'être accompagné de l'installation d'un système de chauffage. Leur utilisation est alors complémentaire.

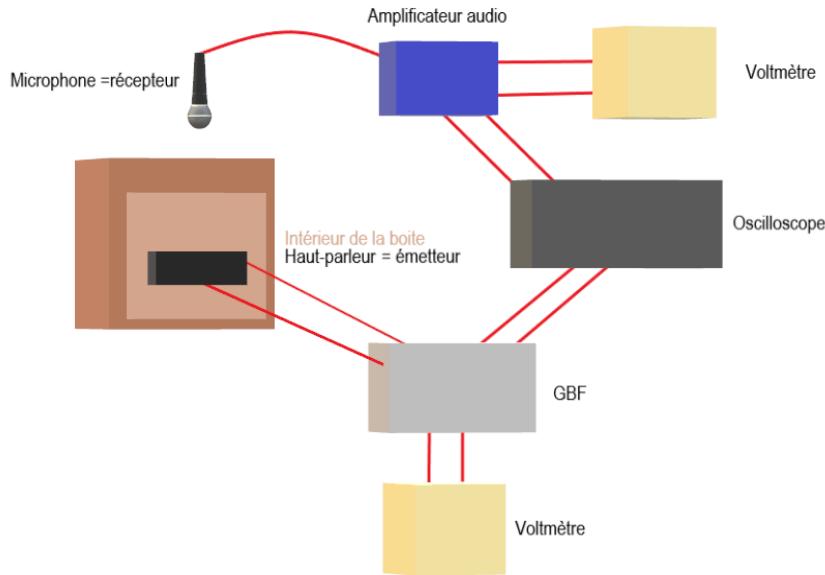
III-Etude de l'isolation phonique des toitures

1) Expérimentation

Matériel :

- Oscillateur
- GBF
- Fils
- Microphone
- Haut-parleur
- Planche de bois (pour simuler sans végétation)
- 2 Voltmètres
- Amplificateur audio

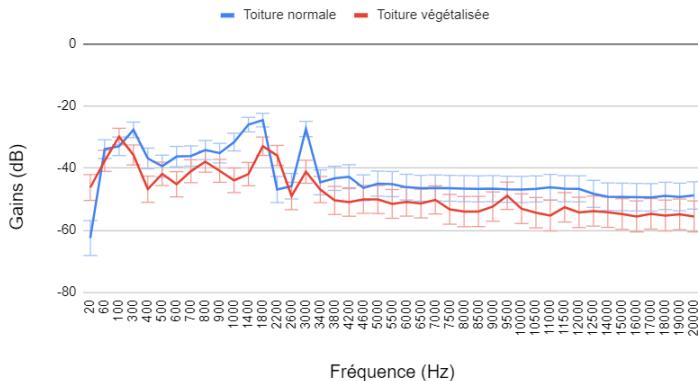
Expérience réalisée :



sommaire. Nous avons aussi pris le temps de réaliser des mesures pour différentes hauteurs de micro, car on suppose que ce paramètre pourrait aussi être influent ici.

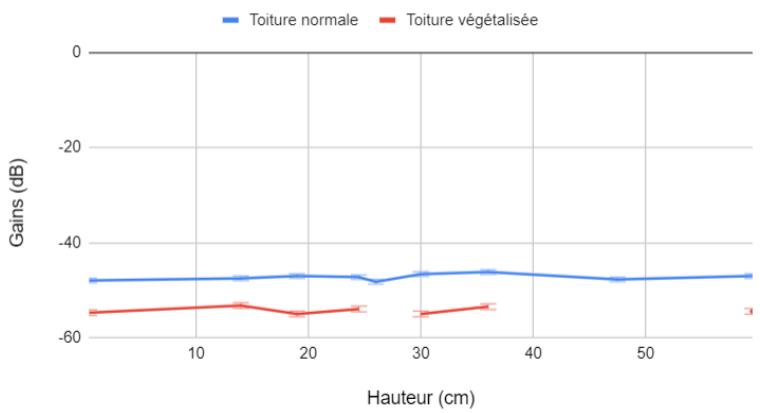
2) Résultats

Gains en dB selon la fréquence pour les deux types de toitures



A partir des amplitudes émises (U_e) et reçue (U_s), on calcule le gain grâce à la relation : $20 \cdot \log(U_e/U_s)$ avec U_e la tension d'entrée et U_s celle de sortie, toutes deux en volt.

Gains (dB) selon la hauteur pour les mesures



Et conformément à ce que l'on attendait, notre toiture végétalisée présente bien un gain négatif plus important que la toiture non végétalisée. L'atténuation sonore se révèle donc bien plus importante, et donc avantageuse dans le cadre de la toiture végétalisée.

3) Discussion autour des valeurs obtenues

Un problème, néanmoins à signaler, est la difficulté que nous avons présenté vis-à-vis de la prise de valeurs dans le cadre de cette expérience. En effet, les valeurs semblaient quelques fois chaotiques, d'autant plus que dans la première expérience, les marges d'erreurs se confondent pour la majeure partie d'entre elles. Un des biais de cette expérience est l'effet "caisse de résonance" (plus intense pour des fréquences basses) de notre boîte, ce qui explique relativement les difficultés rencontrées. L'effet caisse de résonance est dû à notre choix d'isolant. Le polystyrène étant un bon isolant thermique, mais un isolant phonique médiocre.

De plus, de par la quantité de décibels isolés pour seulement quelques centimètres de terre (équivalents à environ 1000 dB/m), il nous est permis de nous interroger sur la véracité de nos résultats. Supposément, ici, serait isolé un son équivalent à celui d'un axe de circulation automobile.

Et enfin, la hauteur de micro ne semble ici pas avoir induit de différence. Cela peut être dû aux maigres différences de hauteur entre chacune des prises, mais nous avons alors été limités par le cadre d'expérimentation.

Conclusion :

Ainsi, par le biais de notre étude, nous constatons que l'installation de toitures végétalisées présente bien des avantages par rapport aux systèmes de climatisation et de chauffage, de par le fait qu'elles permettent une isolation à la fois phonique et thermique. Et ça tout en présentant l'avantage de répondre à la problématique de transition au vert de notre génération.

Mais forcément, lorsque l'on aborde le problème d'un point de vue du confort, on a bien vu que notre isolation n'apporte qu'un amortissement des valeurs de températures et de sons. Face à des systèmes qui permettent soit une isolation totale, soit un certain degré de liberté sur le choix de la température, il est sûr qu'elle présente des difficultés. D'autant plus que, comme l'a montré une étude complémentaire que nous avons réalisée à l'aide de notre station météo, elle nécessite alors, en plus, un système de régulation de l'humidité intérieure, car l'augmentant.

C'est pourquoi, bannir totalement l'utilisation de l'un des deux systèmes est à proscrire. Ainsi, il est préférable de les coupler. Les toitures végétalisées permettent ici de limiter l'impact climatique et les coûts des climatiseurs, en plus de présenter d'autres avantages tels que la réduction de la quantité d'eaux usées, car absorbées par les toits, ou un enrichissement de l'air en dioxygène. [5]

A plus grande échelle, les toitures végétalisées permettent de réduire la quantité d'eaux usées dans les stations d'épurations grâce aux plantes du toit qui captent l'eau de pluie. De plus, dû à la photosynthèse, l'air est enrichi en dioxygène et réduit les effets de serre au niveau des grandes villes et grandes zones urbaines (l'air est donc plus sain). [5]

Enfin, au cours de notre entretien avec Monsieur Mayer-Rossignol, maire de Rouen; les toitures végétalisées nous ont surtout été présentées comme influant sur le bien-être de la population, que ce soit par leur mise en culture possible, ou par leur simple rôle d'aménité environnemental. Il nous présentait néanmoins sa réticence vis-à-vis des difficultés présentées par l'installation de ce genre de structures. Mais dès lors d'une tentative de modernisation d'un quartier, les toitures végétalisées se présentaient tout de même comme des candidates propices à la construction, car très appréciées par le grand public. [A]

Bibliographie:

[1]Article:

MOREA, S., et al (novembre 2018).Chiffres clés du climat, édition 2019. p6

<https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2019-05/datalab-46-chiffres-cles-du-climat-edition-2019-novembre2018.pdf>

[2]Article:

PIERRE, T., et al (24/07/2019).Canicule: forte hausse des ventes de ventilateurs et climatiseurs.

https://www rtl.fr/actu/meteo/canicule-forte-hausse-des-ventilateurs-et-climatiseurs-779809_6333

[3]Article:

MPELLERIN, (10/07/2018) .Le cercle vicieux de l'essor de la climatisation.

<https://www.notre-planete.info/actualites/1233-climatisation-consommation-energie>

[5]Article:

Sénova, (vendredi 2 décembre 2011). Les toitures végétalisées réduisent les consommations d'énergie de climatisation et de chauffage.

<http://construction.senova.fr/conseils-techniques/les-toitures-vegetalisees-reduisent-les-consommations-denergie-de-climatisation-et-de-chauffage/#:~:text=L'entr%C3%A9e%20de%20chaleur%20issue.diminuer%20les%20consommations%20de%20climatisation>

[4]Article:

Ribeiro, Aurélia, et al. (01/12/2020). Prix des différents types de chauffages: tout pour bien choisir.

<https://www.habitatpresto.com/mag/chauffage/prix-chauffage>

[6]Etude:

Ernst & Young et Associés, et al. (2009). Étude pour la définition d'une démarche de développement des toitures végétalisées.

https://www.nice.fr/uploads/media/default/0001/02/Etude_sur_les_toitures_vegetalisees_1.pdf

[7]Article:

Habitatpresto, et al. (10/12/2019). Entretien annuel de chauffage: ce qu'il faut savoir.

<https://www.habitatpresto.com/mag/chauffage/entretien-annuel-chauffage-prix>

Sitographie:

[a]Page Web:

Picbleu, et al. (30/05/2015). Toitures végétalisées habitat avantages inconvénients. picbleu.fr. Consulté le 31/03/2021.

<https://www.picbleu.fr/page/toitures-vegetalisees-habitat-avantages-inconvenients>

[b]Page web:

Air3d, et al. Entretien de climatisation: guide pas à pas. cacheclimatisation.com. Consulté le 31/03/2021.

<https://www.cacheclimatisation.com/climatisation/entretien-climatisation/>

[c]Page web:

Pépinière du chardon bleu,et al. (2007/2021). Entretien annuel des toitures végétalisées est indispensable tous les ans. Toiturebio Solutions et kits pour toitures végétales. Consulté le 31/03/2021.

<https://www.toiture-bio.com/entretien-des-toitures-vegetalisees.html>

[d]Page web:

Mondevis. Comment réaliser une toiture végétalisée sur un toit plat?. travaux.mondevi.com. Consulté le 31/03/2021.

<https://travaux.mondevi.com/toiture-vegetalisee/>

[e]Page web:

Emmanuel Cosgrove et Angeline Spino, Écohabitation,et al. (24 mars 2009 12:38).Toits végétaux, étape par étape, avantages et inconvénients. écohabitation. Consulté le 31/03/2021

<https://www.ecohabitation.com/guides/2412/toits-vegetaux-etape-par-etape-avantages-et-inconveniens/>

[f]Page web:

HomeAdvisor International, et al. (10/07/2017) . Quel est le prix d'une climatisation réversible?.travaux.com. Consulté le 31/03/2021.

<https://www.travaux.com/climatisation/articles/prix-climatisation-reversible>

[g]Page web:

Travaux.com. Prix d'une toiture végétalisée. Consulté le 19/05/2021

<https://www.travaux.com/couverture-toiture/guide-des-prix/combien-coute-une-toiture-vegetalisee>

Contacts:

[A] Mayer-Rossignol Nicolas. Mairie de Rouen. Maire de la ville.