

« Déterminer l'exposition des environnements urbains à la pluie battante : une approche numérique »



Alexis SAUVAGEON
L'hypercube

L'article d'Alexis SAUVAGEON, publié dans la revue scientifique *Urban Climate* en 2024, présente une méthodologie pour évaluer l'exposition des environnements urbains à la pluie entraînée par le vent, en se basant sur des données météorologiques et des outils numériques. L'ambition derrière cette méthode étant de réduire le nombre de simulations de transport de gouttes de pluie, en s'appuyant sur des outils mathématiques de réduction de modèle. Testée dans divers cadres urbains, cette dernière a montré son potentiel pour des applications en ingénierie et architecture.

Accédez ici à l'article intégral :



Un enjeu majeur pour la durabilité et la performance des structures extérieures

En présence de vent, les trajectoires des gouttes de pluie sont altérées. Dans un environnement urbain dense, les mouvements tourbillonnaires et les flux aériens complexes redistribuent l'humidité de manière hétérogène sur les façades (figure 1), exposant même des zones que l'on croyait à l'abri. Ce phénomène, acteur principal de l'humidité dans les constructions, précipite l'usure des façades et augmente le risque de dysfonctionnement des équipements, spécialement dans les gares qui s'ouvrent généreusement sur l'extérieur.

Cet article présente un nouvel indicateur d'exposition à la pluie global.

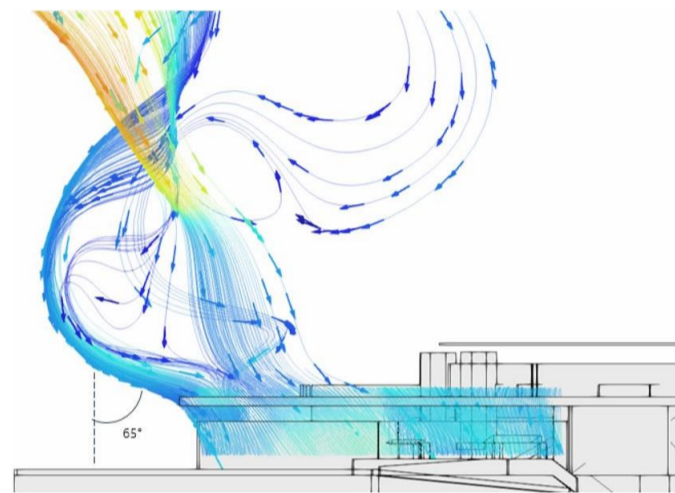


Fig 1 : Trajectoire de gouttes altérée par les courants d'air – gare d'Issy RER.

Des outils mathématiques de pointe ...

L'établissement de cet indicateur passe par le calcul des cartes d'exposition pour chaque scénario météorologique : direction et vitesse de vent $[U]$, intensité de la pluie $[r_h]$.

Le caractère original de la recherche repose sur la réduction du nombre de simulations numériques à 40 par direction de vent, là où 400 auraient été nécessaires (figure 2). Pour cela, les 40 cartes d'exposition $[r_{wdr}(X, r_h, U)]$ issues des simulations (figure 3) sont agrégées dans une matrice, à laquelle une méthode mathématique de « décomposition orthogonale propre » est appliquée. Dans cette représentation simplifiée (figure 4), chaque carte est définie par deux éléments principaux :

- Des modes $[\phi_k]$, classés par influence sur l'énergie du système, qui illustrent comment celle-ci varie dans l'espace.

- Des coefficients $[a_k]$, basés sur les données météo, qui déterminent l'effet de ces modes sur la réponse du système à la pluie entraînée par le vent.

Pour estimer la pluie battante sous différentes conditions météorologiques, il suffit de déterminer ces coefficients a_k en interpolant à partir des données de simulation. Cette méthode est d'autant plus fiable que les premiers modes capturés suffisent à conserver une grande part de l'énergie du système, rendant l'approximation très précise avec une complexité réduite.

L'article présente ensuite des étapes de validation de la méthode permettant de vérifier son applicabilité à différentes échelles, de préciser le nombre de simulations nécessaires ainsi que la stratégie idéale à appliquer pour minimiser l'erreur d'interpolation.

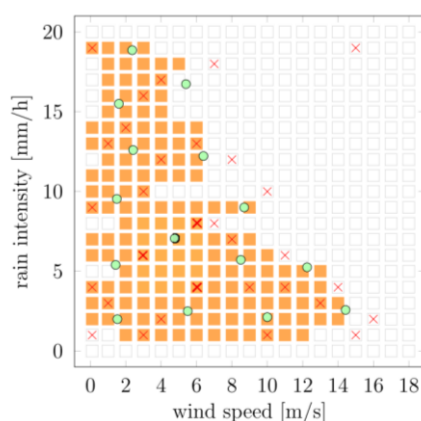


Fig 2 : Scénarios possibles (■), et simulés (×) par vent du Nord – Paris (2010-2020).

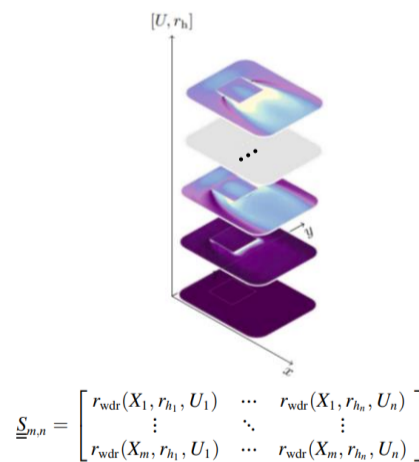


Fig 3 : Cartes d'intensité de pluie, issues des simulations, selon la vitesse du vent, assemblée en matrice pour la POD.

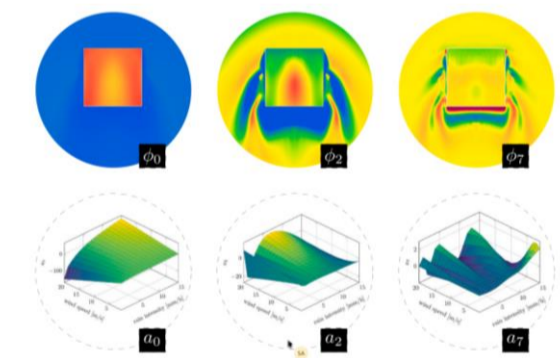


Fig 4 : Représentation du système après POD : modes de variabilité spatiales de l'énergie ϕ_k et coefficients a_k associés.

... au service des projets !

L'indicateur d'exposition à la pluie, ainsi construit, se présente comme une carte du site étudié caractérisant la fraction du temps pluvieux annuel pendant laquelle le site est effectivement mouillé par la pluie. Cette méthode a été appliquée notamment sur les gares de Bondy (figure 5), d'Épônes et d'Évry-Courcouronnes pour caractériser l'efficacité des abris mis en place.

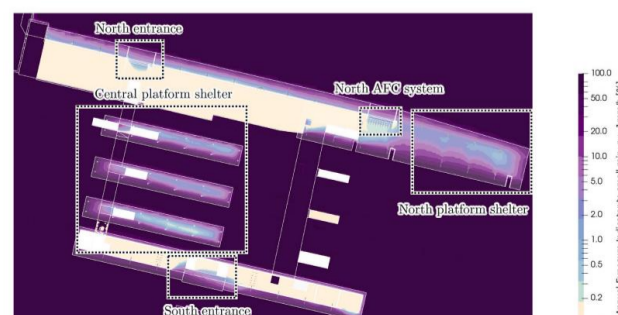


Fig 5 : Exposition à la pluie, gare de Bondy.