

Fiche Technique **UrbaWind**

1. LES EQUATIONS RESOLUES PAR **UrbaWind**

1.1. Equations de Navier_Stokes

Le logiciel **UrbaWind** résout les équations de la Mécanique des Fluides, qui sont les équations moyennées de conservation de la masse et de la quantité de mouvement (équations de Navier-Stokes) pour un fluide isotherme, incompressible et un écoulement stationnaire :

$$(1) \quad \frac{\partial \rho \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0$$

$$(2) \quad -\frac{\partial(\rho \bar{u}_j \bar{u}_i)}{\partial x_j} - \frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \overline{\rho u'_i u'_j} \right] + F_i = 0$$

Avec :

\bar{u}_i : Composantes du vecteur vitesse moyen dans le repère cartésien

u'_i : Composantes des fluctuations turbulentes

\bar{P} : Valeur moyenne de la pression

μ : Viscosité dynamique de l'air

ρ : Densité de l'air

1.2. Modélisation de la Turbulence

Les flux turbulents $-\overline{\rho u'_i u'_j}$ sont paramétrés à l'aide de la notion de viscosité turbulente, avec l'hypothèse d'une relation de proportionnalité entre ces corrélations et les gradients des variables moyennes. On a alors :

$$(3) \quad -\overline{\rho u'_i u'_j} = \mu_t \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij}$$

La viscosité turbulente μ_t est considérée comme le produit d'une échelle de longueur et d'une échelle de vitesse, toutes 2 caractéristiques des fluctuations turbulentes. L'échelle de vitesse est donnée par la racine carrée de l'énergie cinétique turbulente, multipliée par la densité. On a alors :

$$(4) \quad \mu_t = \rho k^{1/2} L_T$$

L'énergie cinétique turbulente est résolue par son équation de transport qui inclue la production P_k et la dissipation ε de turbulence:

$$(5) \quad \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\rho \bar{u}_i k - \left(\frac{\mu_T}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] = P_k - \varepsilon$$

Le taux de production P_k et la dissipation ε de l'énergie cinétique turbulente k sont calculées par:

$$(6) \quad P_k = \mu_T \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_j}$$

$$(7) \quad \varepsilon = C_\mu \frac{k^{3/2}}{L_T}$$

Avec $C_\mu = 0.09$

L'échelle de longueur de la turbulence L_T varie linéairement avec la distance à la paroi la plus proche (sol et bâtiments).

1.3 Conditions aux limites

Conditions d'entrée

Le profil de vitesse de vent en entrée du domaine est donné par la loi logarithmique dans la couche de surface puis par la loi d'Ekman dans la couche limite

L'énergie cinétique turbulente entre dans le domaine avec une valeur constante dans la couche de surface, puis décroît au dessus.

Frottement sur les surfaces

Une loi de paroi de type 'Blasius' est implémentée pour modéliser le frottement (composantes de vitesse et énergie cinétique turbulente) sur les surfaces (sol et immeubles).

Modélisation des éléments poreux (végétation, brise-vent)

L'effet d'obstacles poreux est inclus dans le modèle par l'adjonction d'un terme puits dans les cellules comprenant cet obstacle. On a:

$$(9) \quad \vec{F} = -\rho \cdot V \cdot C_d \cdot |\vec{U}| \cdot \vec{U}$$

Où C_d est le coefficient de frottement volumique, proportionnel à la densité de l'élément poreux, et V est le volume de la cellule considérée.

Limites supérieures, latérales et de sortie

Des conditions de symétrie sont appliquées aux limites latérales du domaine de calcul (les dérivées selon y de la pression et des composantes de vitesse selon x et z, ainsi que la composante de vitesse selon y, sont égales à 0).

Au niveau de la face supérieure du domaine de calcul, les dérivées selon z de l'ensemble des variables sont égales à 0.

En sortie, la pression est considérée comme uniforme.

1.4. Turbulence

Les caractéristiques de la turbulence sont fournies sous forme de l'écart-type des fluctuations de vitesse, estimé globalement comme le ratio de la racine carrée de l'énergie cinétique turbulente par la vitesse locale du flux.

2. GENERATION DE MAILLAGE

La génération automatique du maillage de calcul est ce qui permet à **UrbaWind**, de traiter les situations les plus complexes, sans nécessiter de mise au point lourde et fastidieuse, ce qui est généralement le cas dans les codes de calcul de Mécanique des fluides.

Ce maillage est effectué selon la direction du vent calculé. La taille du domaine de calcul (si elle n'est pas spécifiée par l'utilisateur), est automatiquement calculée afin que la distance minimale séparant un bâtiment d'une condition limite de calcul soit égale à 6 fois la hauteur du plus haut bâtiment pris en compte dans la simulation.

Le maillage généré est cartésien, mais non structuré (utilisation de maillages imbriqués), avec raffinement automatique des mailles à proximité du sol, des obstacles et bien sûr des points de résultats.

La dimension des mailles à proximité des bâtiments est typiquement d'environ 40 cm (ou plus fin lorsque la géométrie l'exige) et d'environ 1 m sur les zones d'intérêt. La dimension des mailles selon l'axe z à proximité du sol est d'environ 25 cm.

Les figures suivantes montrent des détails de maillage obtenus automatiquement sur des zones urbaines.

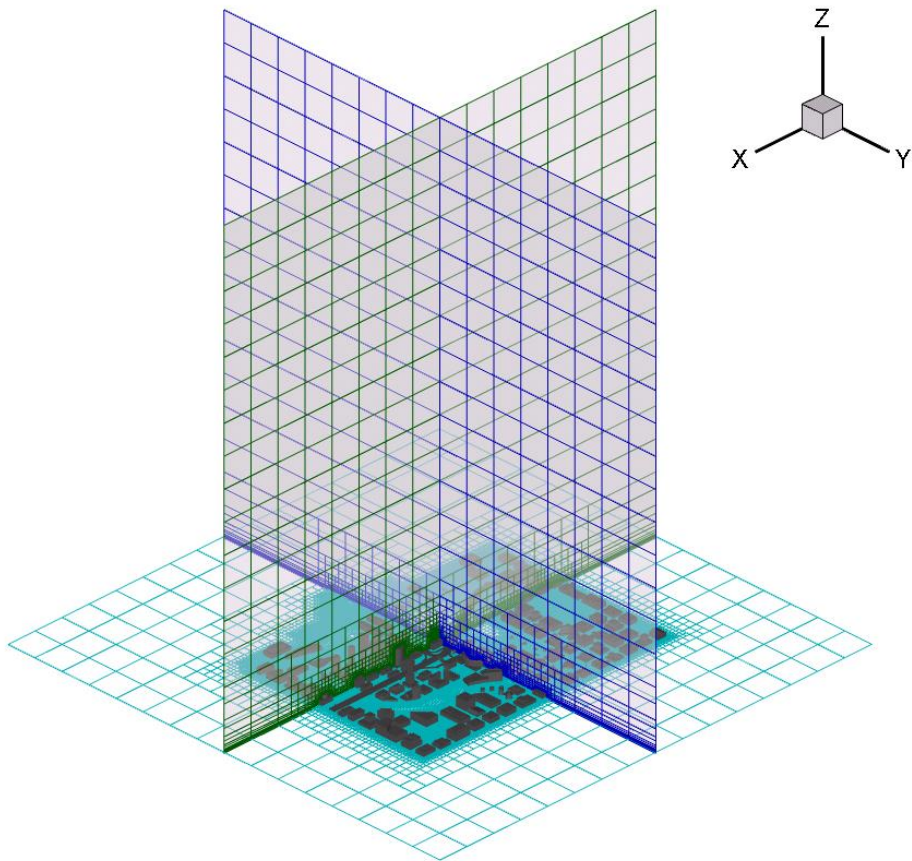


Figure 1: Exemple de maillage **UrbaWind**

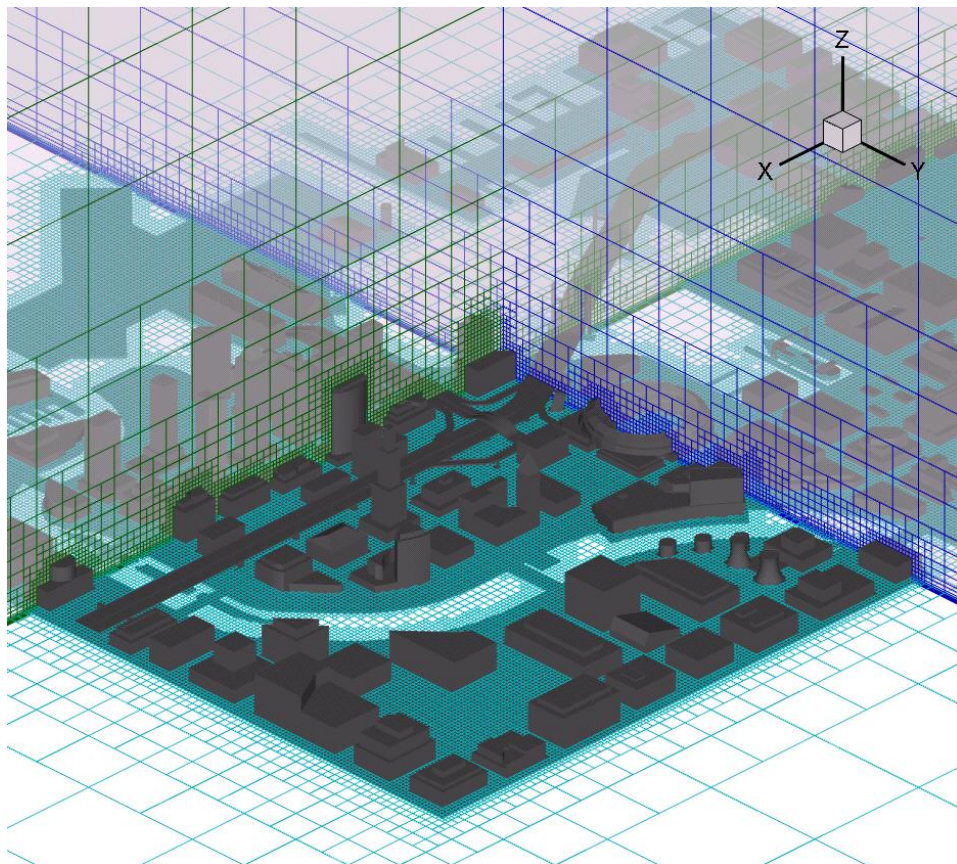


Figure 2: Exemple de maillage **UrbaWind**

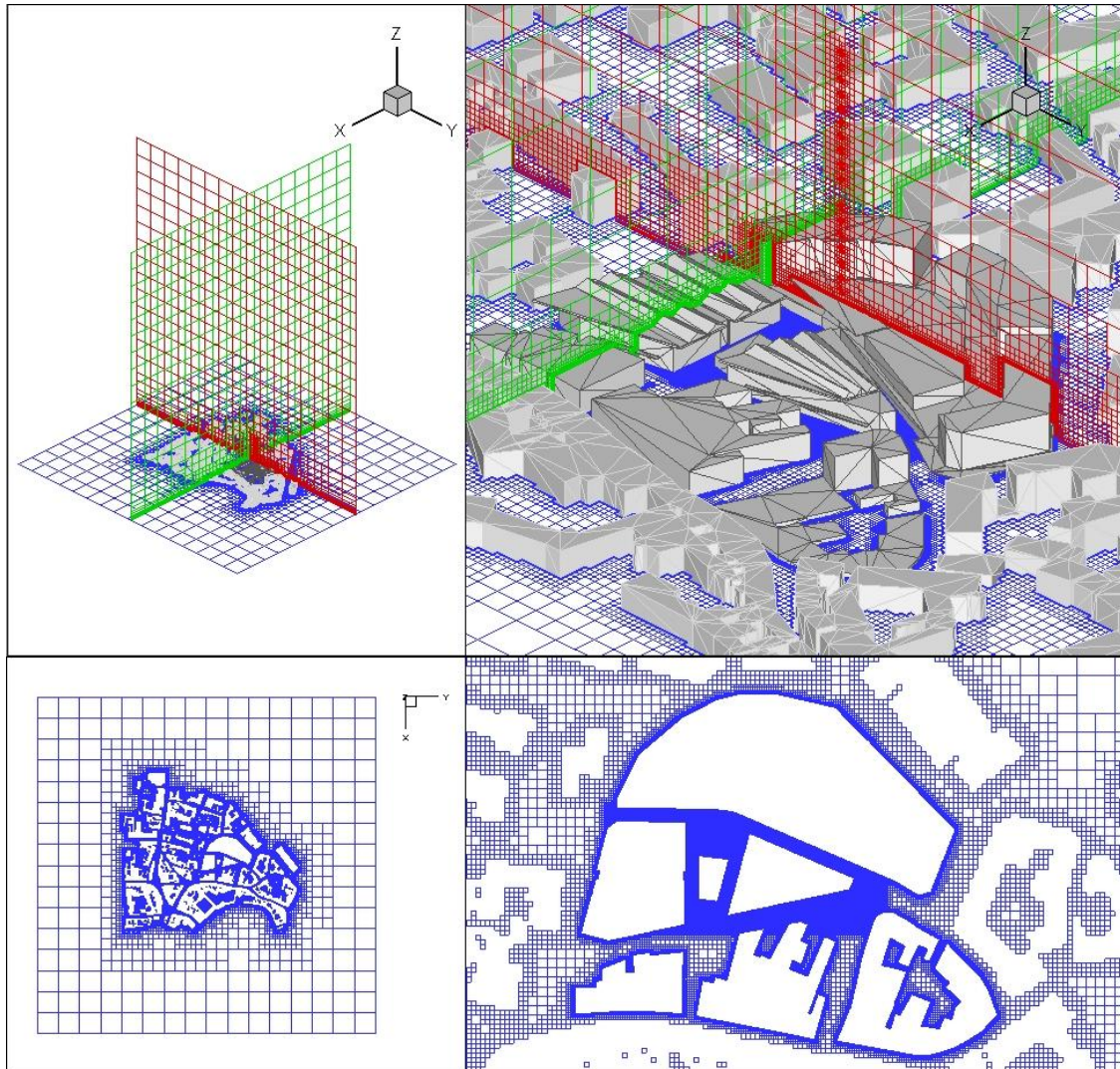


Figure 3: Exemple de maillage *UrbaWind*

3. SOLVEUR MIGAL-UNS

Le solveur MIGAL-UNS, développé par la société MFRDC est utilisé régulièrement depuis quelques années, et a été validé de façon complète sur un certain nombre de cas classiques.

MIGAL est un solveur itératif d'équations linéaires qui met à jour **simultanément** les composantes de la vitesse du vent et de la pression sur le domaine de calcul entier à chaque itération : C'est ce qu'on appelle une résolution « couplée ». Cette méthode, si elle demande davantage de capacité de stockage en mémoire vive, présente l'avantage d'accélérer considérablement le processus de convergence.

L'ensemble des équations discrétisées, représenté par un système matriciel, fait l'objet d'une décomposition LU incomplète de type ILU(0). Afin d'améliorer la robustesse de la résolution, un pré-conditionnement est effectué dans le but d'augmenter les termes de la diagonale principale.

De plus, MIGAL utilise une procédure de résolution multi-grille. Ce concept consiste à résoudre successivement les équations sur différents niveaux de grille (de la plus fine à la plus grossière), ce qui permet une convergence beaucoup plus rapide des basses fréquences de fluctuations, qui sont les éléments qui convergent le plus lentement. Pour le type de problème effectué, les tests effectués ont donné une convergence plus rapide pour le parcours des grilles par un processus de « cycle en V » plutôt que de « cycle en W ». Le nombre de niveaux de grilles est automatiquement calculé par MIGAL.

Stratégie de raffinement: Algorithme d'agglomération

Pour le calcul multi-grille, MIGAL-uns utilise une méthode d'agglomération qui fusionne ensemble et agglomère les volumes de contrôle voisins de la grille fine, Ce processus est exécuté de façon récursive jusqu'à générer une séquence entière de maillages grossiers.

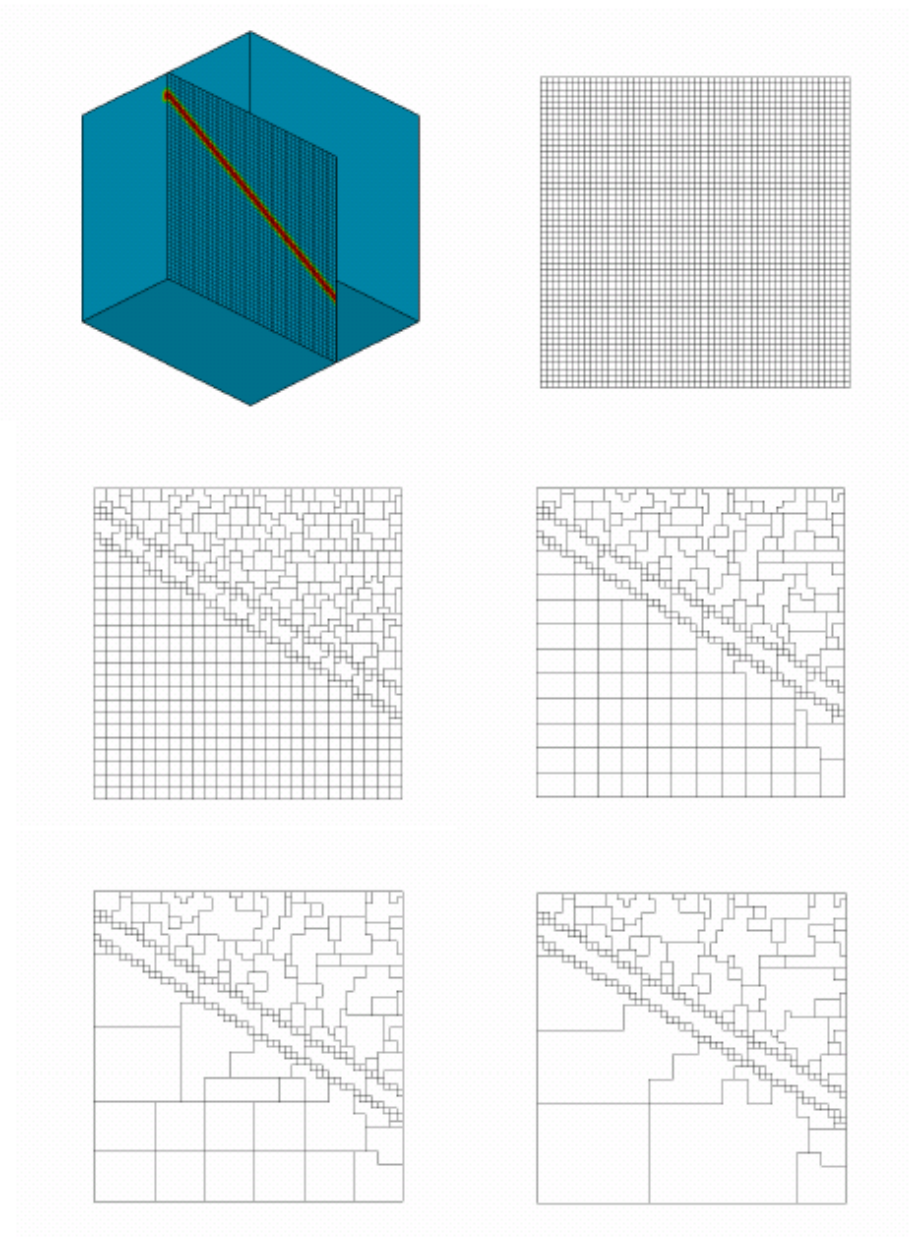


Figure 4: Schéma du processus de maillage en agglomération de MIGAL UNS sur **UrbaWind**

Une fois que la hiérarchie des grilles a été définie, il faut répondre à la question de savoir comment les équations sur les grilles grossières sont créées et comment leur solution est utilisée pour réduire les erreurs de grandes longueurs d'onde sur les grilles plus fines.

MIGAL emploie une méthode de projection de Galerkin pour la construction des équations sur la grille grossière. Cette technique, appelée "Additive Correction Multi-grid" revient à construire l'équation de maille grossière comme la somme des équations de chaque cellule de grille fine correspondant. Une fois que la solution est obtenue sur la grille grossière, celle-ci est introduite en corrigeant les valeurs précédemment obtenues sur la grille fine de l'erreur obtenue.

Par rapport à des méthodes monogrilles découplées, le gain en rapidité de convergence est d'un facteur compris entre 5 et 10.

4. SYNTHÈSE

4.1. Données climatologiques

L'utilisateur peut introduire ses propres données météorologiques, basées par exemple sur les données de la station météorologique la plus proche, corrigées des effets topographiques locaux (*par exemple avec le logiciel **TopoWind***)

On propose également à l'utilisateur de choisir la climatologie de son site sur une base annuelle ou saisonnière. Ces statistiques correspondent au vent moyenné spatialement à 100 m de hauteur sur l'ensemble du domaine et peuvent être sélectionnées via l'interface.

Elles ont été obtenues en traitant une base de données de 120 stations météo françaises auxquelles une correction topographique a été effectuée grâce au logiciel **TopoWind**. Puis après avoir effectué une correction de rugosité régionale, nous avons ajusté cette référence pour avoir des statistiques au niveau des centres-villes.

4.2. Module confort

Le confort climatique, du point de vue du vent, est caractérisé en un site par la fréquence de dépassement de la vitesse du vent en rafales (*vent moyen sur 10 minutes augmenté de l'écart-type des fluctuations turbulentes*).

Le tableau suivant donne les critères actuellement adoptés par certains organismes pour la caractérisation du confort. Cependant, l'utilisateur est libre de choisir le seuil de vitesse qu'il juge le plus approprié. Les résultats sont fournis sous forme de cartographie ou de tableaux (*aux points d'intérêts*) donnant les fréquences de dépassement du seuil choisi.

	marche rapide	marche normale	debout	assis
France (CSTB)	$F(V>3.6) < 20 \%$	$F(V>3.6) < 10 \%$	$F(V>3.6) < 5 \%$	$F(V>3.6) < 5 \%$
Pays-Bas	$F(V>5) < 20 \%$	$F(V>5) < 10 \%$	$F(V>5) < 5 \%$	$F(V>5) < 5 \%$
Danemark (DMI)	$F(V>5) < 50 \%$	$F(V>5) < 34 \%$	$F(V>5) < 15 \%$	$F(V>5) < 15 \%$
Montréal (hiver)	$F(V>4) < 25 \%$	$F(V>4) < 15 \%$	$F(V>4) < 10 \%$	$F(V>4) < 10 \%$
Montréal (été)	$F(V>6) < 25 \%$	$F(V>6) < 15 \%$	$F(V>6) < 10 \%$	$F(V>6) < 10 \%$
Royaume-Uni	$F(V>11) < 2 \%$	$F(V>8) < 4 \%$	$F(V>5) < 6 \%$	$F(V>5) < 1 \%$

Sécurité:

$F(V>15) > 0.05 \%$: site à risques
 $F(V>15) > 0.3 \%$: site dangereux

Notation:

$F(V>3.6)$ = fréquence des vents supérieurs à 3.6 m/s

Figure 5: Critères de confort aérodynamiques pour les usagers suivant leurs activités dans différents pays

REFERENCES

- [1] J.R. Garratt (1992) *The atmospheric boundary layer*, Cambridge Atmospheric and space sciences series.
- [2] A.N. Ross, S.B. Vosper *Neutral Turbulent flow over forested hills*
- [3] Ferry M., 2000, "The MIGAL solver", Proc. Of the Phoenix Users Int. Conf., Luxembourg, 2000
- [4] Ferry M., 2002, "New features of the MIGAL solver", Proc. Of the Phoenix Users Int. Conf., Moscow, Sept. 2002
- [5] Monin A.S. and Yaglom A.M., 1973, *Statistical Fluid Mechanics*, Volume 1, MIT Press, Cambridge, UK.
- [6] P. J. Hurley (1997) *An evaluation of several turbulence schemes for the prediction of mean and turbulent fields in complex terrain*

ANNEXE: DESCRIPTION DE L'INTERFACE UTILISATEUR

L'application *UrbaWind* s'exécute sous les différents systèmes d'exploitation suivants :

- Windows XP Edition Familiale
- Windows XP Edition Professionnelle
- Windows XP x64 Edition
- Windows Vista (32bits)
- Windows Vista Intégral (64bits)

Le logiciel est traduit dans les langues suivantes :

- Français
- Anglais
- Chinois

Configuration minimale de l'ordinateur :

Processeur 2GHz (Intel EM64T ou AMD64 pour la version 64 bits du logiciel)

2Go de mémoire vive (RAM)

150Mo de disque dur requis (seulement pour l'installation)

Carte graphique 256Mo