

Université 8 mai 1945 Guelma - Faculté des sciences et de la technologie  
Département d'architecture - Doctorat 2019/2020  
Option : Architecture Ecologique et Durabilité



# Les outils d'analyse et d'investigation sur l'efficacité énergétique dans le bâtiment

**Matière : analyse thématique 2019/2020**

Doctorant : **Bilal ZOUAOUI**

Enseignant : **Pr. Djamel ALKAMA**



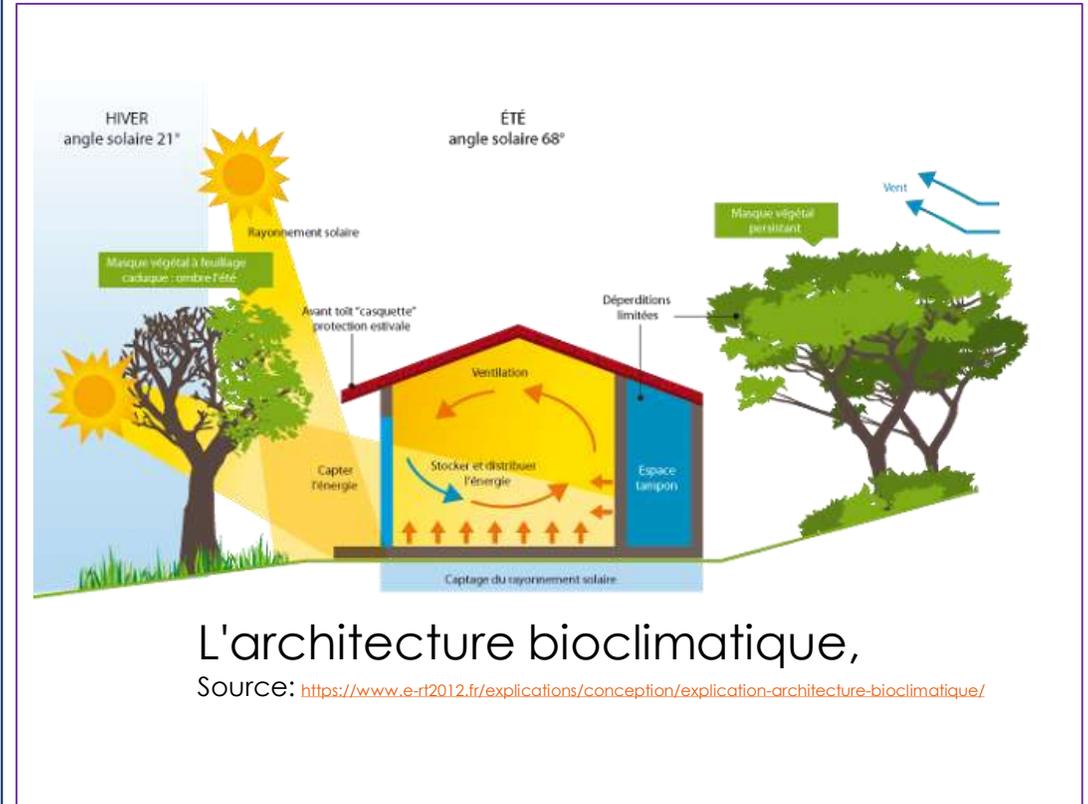
*« Je ne pense pas que l'architecture soit seulement une question de refuge, encore moins seulement un boîtier très simple. Il devrait être en mesure de vous exciter, de vous calmer, de vous faire réfléchir »*

*Zaha Hadid*

# Quelques définitions

## L'architecture bioclimatique :

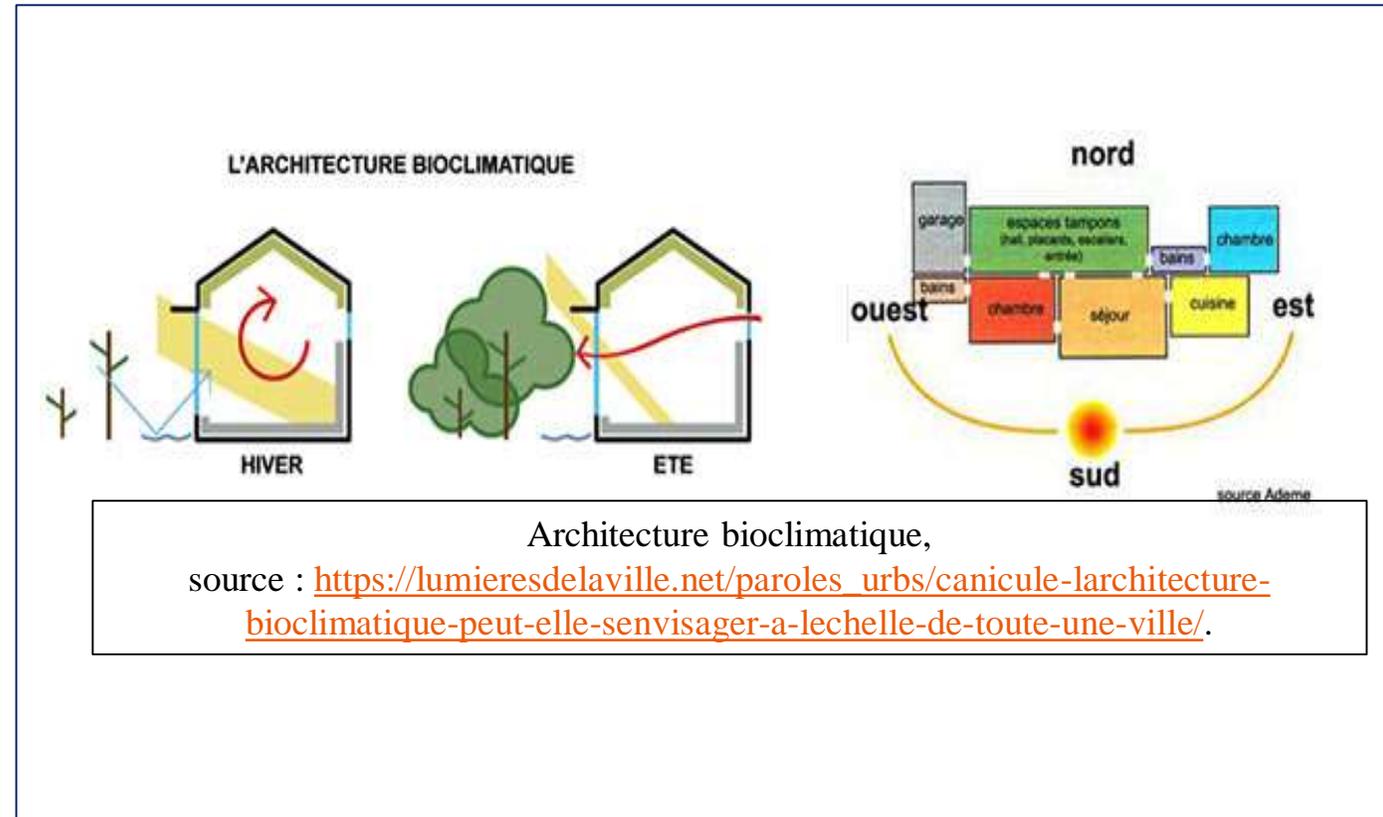
- L'architecture bioclimatique est une manière de construire avec l'environnement. Le concept global est également appelé « architecture climatique » ou « architecture naturelle ». Lorsque la prise en compte de l'environnement se fait aussi dans l'utilisation des matériaux, les émissions de gaz à effet de serre, la gestion de l'eau ou des déchets, ce type d'architecture est appelé « architecture écologique », « architecture durable », ou « architecture verte ». Si l'intégration dans l'environnement est plus sphériquement axée sur l'utilisation des ressources énergétiques, et plus particulièrement du soleil, on parle de « architecture solaire », ou de « architecture passive », ces deux termes pouvant d'ailleurs être combinés.



# Quelques définitions

## Les bâtiments bioclimatiques :

- L'architecture bioclimatique cherche de la meilleure adéquation entre le bâtiment, le climat et ses occupants pour réduire au maximum les besoins énergétique non renouvelable. Le bâtiment bioclimatique tire parti du climat afin de rapprocher au maximum ses occupants des conditions de confort avec des températures agréables, une humidité contrôlée, un éclairage naturel, et permet de réduire les besoins énergétique (chauffage ou climatisation).



# Introduction

**Aujourd'hui, la conception de modèles efficaces de l'énergétique du bâtiment et du dimensionnement des équipements solaires et/ou thermiques performants sont abondamment disponibles grâce à des logiciels appropriés. En fait, plusieurs logiciels existent sur le marché pour faciliter aux chercheurs et aux professionnels de traiter les questions de l'efficacité énergétique des bâtiments résidentiels et tertiaires ainsi que celle des équipements connexes.**



# **Logiciels d'analyse et d'investigation sur l'efficacité énergétique dans le bâtiment**



*« L'analyse montre la voie par laquelle une chose a été méthodiquement inventée et fait voir comment les effets dépendent des causes »*

*René Descartes*



# Logiciel TRNSYS

# Logiciel TRNSYS

- Référence mondiale proposée par le CSTB, le logiciel TRNSYS est spécialisé dans la simulation thermique dynamique appliquée au bâtiment.
- Le logiciel permet d'intégrer toutes les caractéristiques d'un bâtiment et de son équipement (systèmes de chauffage, climatisation) pour mener une étude mono ou multi-zone détaillée de son comportement thermique.



# Logiciel TRNSYS

- **TRNSYS (TRaNsient System Simulation)** est un logiciel commercial développé par le laboratoire d'énergie solaire de l'Université de Madison à Wisconsin (États-Unis). Disponible depuis 1975, TRNSYS est dédié à la simulation thermique dynamique des bâtiments et des systèmes solaires de la simple production d'eau chaude sanitaire à la conception et la simulation des bâtiments mono ou multizones, en fonction de leurs emplacements, de leurs matériaux de construction, de leur architecture etc. TRNSYS permet également la visualisation, à un pas de temps défini par l'utilisateur, de la consommation d'énergie en termes de chauffage, de refroidissement etc., ainsi que la production annuelle d'énergie des équipements solaires et/ou thermiques pour un bâtiment donné (chauffe-eau solaire, panneau photovoltaïque, etc.).

# Logiciel TRNSYS

**TRNSYS intègre les variables d'emplacement, de matériaux de construction, d'architecture globale, de concept énergétique choisi, y compris les plus complexes tels que les systèmes solaires innovants.**

**Modulaire et évolutif, la base de données des composants de TRNSYS peut être enrichie de nouveaux composants, systèmes et concepts énergétiques par son utilisateur.**

# Logiciel TRNSYS

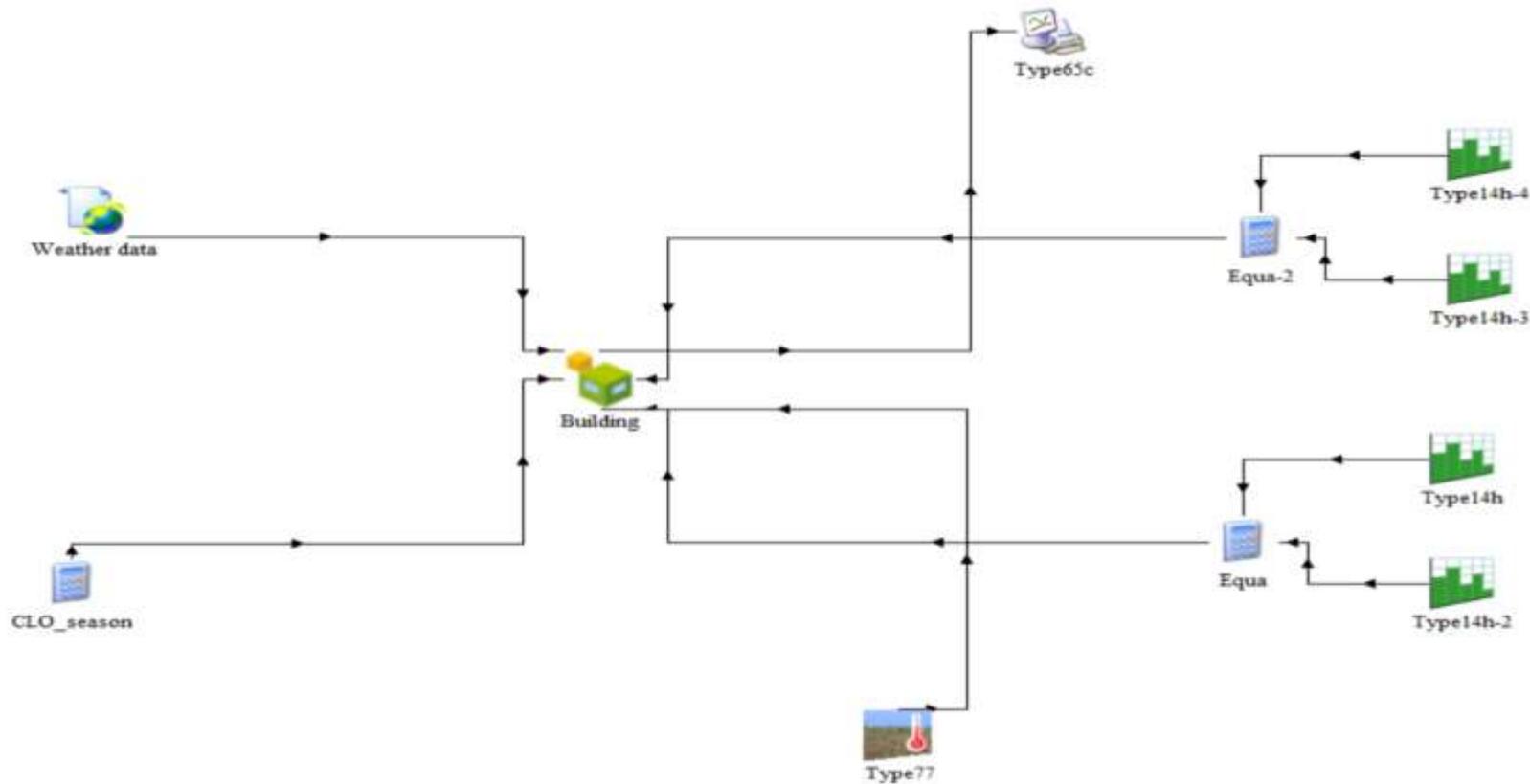
TRNSYS permet aux bureaux d'études, aux fabricants et aux fournisseurs de gaz et électricité de simuler les performances thermiques d'un bâtiment, y compris en géométrie 3D, afin de :

- réduire le temps et le coût des études
- prendre en compte des phénomènes physiques dynamiques
- valider les choix architecturaux et d'équipements
- réaliser des bâtiments énergétiquement performants
- expérimenter des approches novatrices compatibles HQE

\*Logiciel disponible en anglais uniquement.

\***Dernière version : 18**

# Logiciel TRNSYS



## Configuration minimale requise :

- Processeur : PC Pentium 1 GHz
- Mémoire : 512 Mo
- Écran SVGA – Résolution 1 024 x 768

## Systèmes d'exploitation supportés :

- Windows Vista®
- Windows 7®

Le logiciel est disponible en anglais uniquement.

**Interface graphique de TRNSYS présentant l'approche schéma-bloc.**

Source: Lamrhari M D, (2018), *Comportement thermique et économie d'énergie dans un appartement avec différentes mesures d'efficacité énergétique dans les six zones climatiques du Maroc.*

# Logiciel TRNSYS

**Description mathématique des composantes utilisées dans la simulation :**

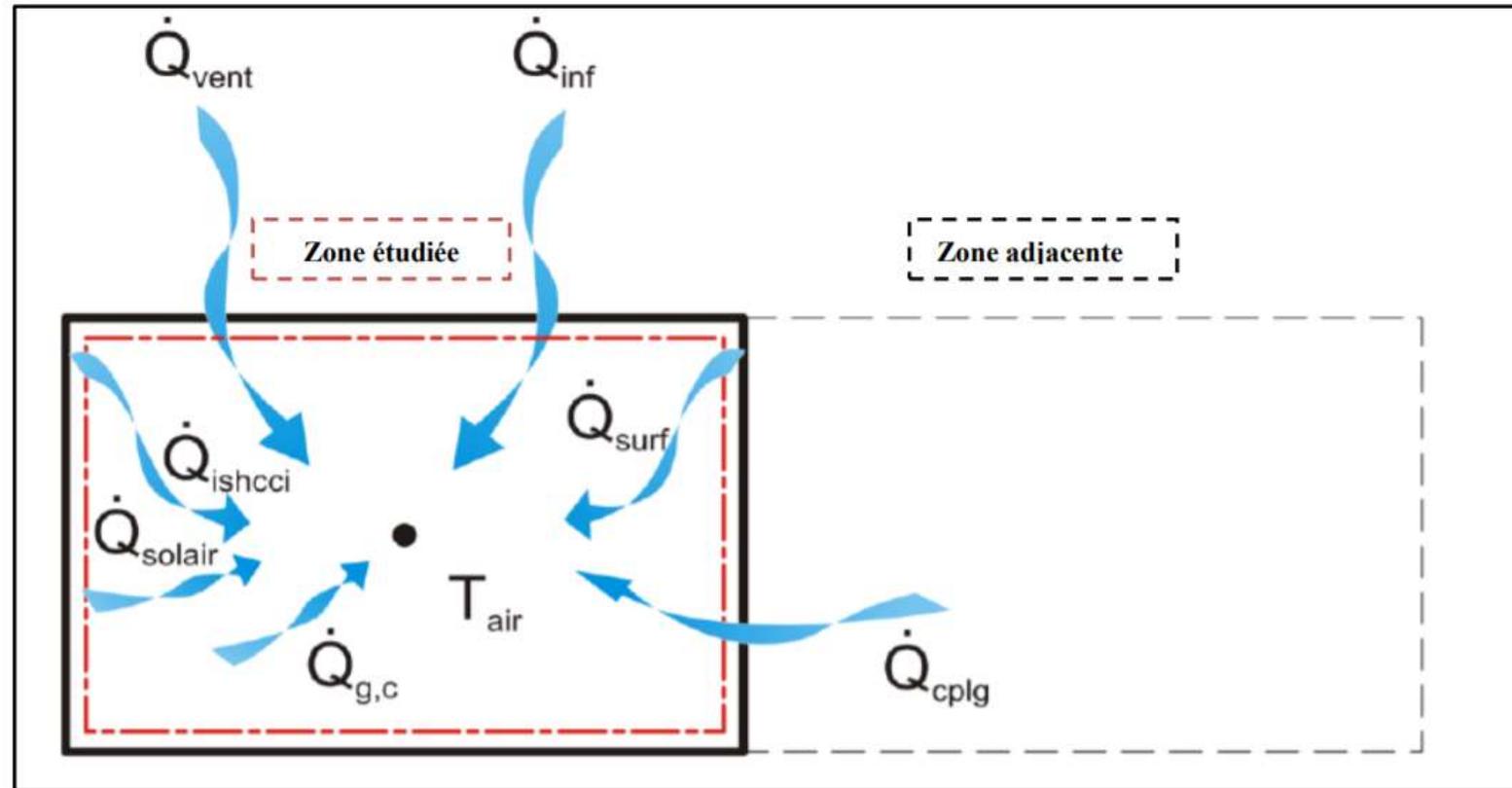
**Transfert thermique par conduction dans une paroi d'un bâtiment :**

La simulation des bâtiments à zones thermiques multiples, le transfert thermique par conduction à travers les parois du bâtiment est modélisé par les fonctions de transfert de Mitalas et Arsenault (TRNSYS, 2010). Cette méthode est basée sur l'analyse des échanges de chaleur, qui permet de calculer avec une bonne précision la conduction dans les parois en régime transitoire.

# Logiciel TRNSYS

- **Transferts convectifs sur un nœud d'air**
- Le modèle du bâtiment est avec un nœud d'air représentant toute la masse d'air d'une zone donnée. Ce nœud d'air représente la capacité thermique du volume d'air étudié et le bilan thermique sur le nœud d'air fait intervenir l'ensemble des apports générés dans l'environnement de la zone étudiée. En effet, le flux de chaleur convectif reçu par un nœud d'air d'une zone thermique (Eq. II.1) est la somme des flux convectifs provenant des différentes surfaces de la zone (Eq. II.2), des gains par infiltration (Eq. II.3), des gains par ventilation (Eq. II.4), des gains internes dus aux occupants, aux équipements et à l'éclairage, des gains dus au couplage de l'air avec les différentes zones adjacentes (Eq. II.5) et des gains solaires à travers les fenêtres. La Figure suivante présente les différents flux convectifs reçus par un nœud d'air (TRNSYS, 2010).

# Logiciel TRNSYS



**Différents flux convectifs reçus par un nœud d'air (TRNSYS, 2010).**

Source: Lamrhari M D, (2018), *Comportement thermique et économie d'énergie dans un appartement avec différentes mesures d'efficacité énergétique dans les six zones climatiques du Maroc.*

# Logiciel TRNSYS

- Les flux convectifs illustrés dans la Figure précédente sont définis par les équations suivantes :

$$\dot{Q}_i = \dot{Q}_{\text{surf},i} + \dot{Q}_{\text{inf},i} + \dot{Q}_{\text{vent},i} + \dot{Q}_{\text{g},c,i} + \dot{Q}_{\text{cplg},i} + \dot{Q}_{\text{solair},i} + \dot{Q}_{\text{ISHCCL},i} \quad \text{Eq. II.1}$$

Avec :

$\dot{Q}_{\text{surf},i}$  : Les gains convectifs provenant des parois intérieures.

$$\dot{Q}_{\text{surf},i} = U_{w,i} A_{w,i} (T_{\text{paroi}} - T_{\text{air}}) \quad \text{Eq. II.2}$$

$\dot{Q}_{\text{inf},i}$  : Les gains d'infiltration (débit d'air provenant de l'extérieur).

$$\dot{Q}_{\text{inf},i} = \dot{V} \rho C_p (T_{\text{ext},i} - T_{\text{air}}) \quad \text{Eq. II.3}$$

$\dot{Q}_{\text{vent},i}$  : Les gains de ventilation (débit d'air provenant d'une source définie par l'utilisateur, système de HVAC).

# Logiciel TRNSYS

$$\dot{Q}_{\text{vent},i} = \dot{V} \rho C_p (T_{\text{vent},i} - T_{\text{air}}) \quad \text{Eq. II.4}$$

$\dot{Q}_{\text{g,c},i}$  : Les gains convectifs internes (par les occupants, par les équipements, par l'éclairage, etc.).

$\dot{Q}_{\text{cplg},i}$  : Les gains convectifs dus à l'écoulement de l'air entre les zones.

$$\dot{Q}_{\text{cplg},i} = \dot{V} \rho C_p (T_{\text{zone},i} - T_{\text{air}}) \quad \text{Eq. II.5}$$

$\dot{Q}_{\text{solair},i}$  : Les gains solaires entrant dans une zone à travers les fenêtres externes et qui sont transférés en gain convectif à l'air intérieur.

$\dot{Q}_{\text{ISHCCI},i}$  : Le rayonnement solaire absorbé par les dispositifs d'ombrage internes de la zone, qui est transféré comme un gain convectif à l'air intérieur.

Source: Lamrhari MD, (2018), *Comportement thermique et économie d'énergie dans un appartement avec différentes mesures d'efficacité énergétique dans les six zones climatiques du Maroc.*

# Logiciel TRNSYS

- **Données météorologiques**

- La modélisation dynamique des systèmes thermiques à l'aide de TRNSYS nécessite des données d'entrée précises et fiables notamment celle de la météorologie. Parmi les fichiers les plus couramment utilisés on trouve les fichiers dits : Année météorologique Typique (Typical Meteorological Year). Un fichier TMY donne à l'utilisateur des données horaires, sur les douze mois calendaires équivalents à une année météorologique typique. On trouve aussi les TRY (Test Reference Year) et les SSY (Standard Solar Year). Les mois typiques composant cette année typique sont choisis parmi ceux d'une longue période (environ 10 à 20 ans) et les techniques de choix de ces mois typiques sont appelées techniques de génération de fichiers TMY et sont basées sur des calculs stochastiques. Les techniques les plus connues sont la méthode « Danish Method » (Anderssen et al. 1977), la méthode de « Sandia laboratories » (Hall et al. 1978) et la méthode de « Festa et Ratto » (Festa et Ratto 1993).

# Logiciel TRNSYS

## Les nouveautés de la version 18 du logiciel TRNSYS :

- Études paramétriques :

Définissez un ensemble de paramètres à varier directement dans Simulation Studio – l'interface graphique de TRNSYS, et lancez une batterie de simulations en même temps.

- Lumière du jour :

Grâce à l'intégration du logiciel DaySIM dans le modèle du bâtiment (type 56), l'illumination dynamique peut être calculée au sein de la structure 3D du bâtiment.

Cette information peut ensuite être utilisée par le modèle thermique afin de définir des stratégies de régulation.

- Environnement de création de composants TypeStudio :

Désormais plus besoin de compilateur FORTRAN pour créer un nouveau composant natif !

Ce nouvel environnement en fourni un, ainsi qu'un environnement de programmation simple à utiliser.

# Logiciel TRNSYS

## • **Autres nouveautés de la version 18**

- Le noyau est maintenant disponible en architecture 64 bits
- La bibliothèque standard a été entièrement revue : 46 nouveaux composants, versions simplifiées des composants pour un démarrage rapide
- TRNLizard : plug-in de connexion vers l'outil CAO Rhinoceros 5® / Grasshopper® pour la simulation 3D très détaillée et paramétrable
- Meilleure interopérabilité grâce au support du format XML pour les composants
- Rapports automatisés
- Nouveaux exemples

Source: <https://logiciels.cstb.fr/batiments-et-villes-durables/performances-energetiques/trnsys/>



**Logiciel**  
**ECOTECT**

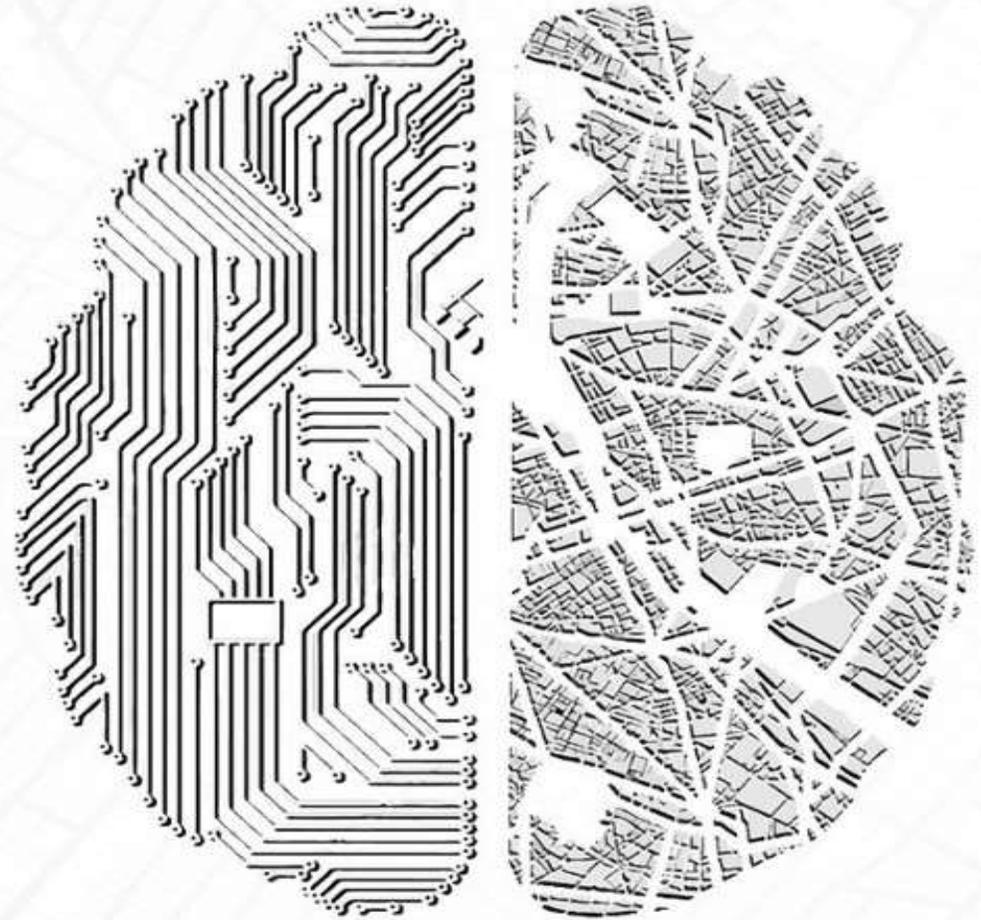


# Logiciel ECOTECT

- C'est un outil de simulation qui combine une interface de modélisation 3D très visuelle et interactive avec une vaste gamme de fonctions d'analyse solaire, thermique, visuelle, acoustique et de coûts. ECOTECT@ est un outil dont l'analyse est simple donnant des résultats relativement précis et visuellement efficaces. Entièrement conçu par des architectes et grâce à son interface très visuelle, ECOTECT@ se présente comme un outil parfait pour communiquer avec les architectes et les concepteurs. Il a été conçu sur la base du principe que la conception environnementale la plus efficace soit validée dès les premières phases de conception au moment où des décisions simples peuvent avoir des répercussions profondes sur les performances du projet final.

# Logiciel ECOTECT

- Le logiciel répond à ce but en fournissant la rétroaction (feedback) visuelle et analytique, guidant progressivement le processus de conception. « Le but est de permettre aux concepteurs d'adopter une approche holistique au processus de conception du bâtiment facilitant ainsi de créer des bâtiments énergétiquement efficaces » (Crawley, 2005).



# Logiciel ECOTECT

- **ECOTECT@ se caractérise, aussi, par une prise en main assez rapide. Son interface 3D intuitive permet la conception des modèles allant de simples croquis jusqu'aux des modèles plus complexes. Ses résultats d'analyse peuvent être montrés directement sur les surfaces du bâtiment ou dans les espaces concernées par l'analyse, donnant au concepteur la meilleure possibilité de comprendre les performances du bâtiment et, donc, apporter les vraies améliorations conceptuelles. Ses sorties étendues rendent également la validation finale de conception beaucoup plus simple en se connectant par interface à Radiance, EnergyPlus et à beaucoup d'autres outils plus spécialisés.**

Source : LABRECHE, S. (2014). *Forme architecturale et confort hygrothermique dans les bâtiments éducatifs, cas des infrastructures d'enseignement supérieur en régions arides.*

# Logiciel ECOTECT

## Étapes du travail par ECOTECT@ :

Les étapes du travail de simulation via le logiciel ECOTECT@ sont :

la préparation, le dessin et l'analyse.

- **Préparation :**
  - Télécharger les données climatiques de la région ;
  - Nommer son dessin ;
  - Fixer le type du bâtiment étudié ;
  - Fixer l'environnement du bâtiment (urbain, rural, etc.).

# Logiciel ECOTECT

- **Dessin :**
  - Fixer le Nord ;
  - Fixer la hauteur des espaces ;
  - Choisir les matériaux de construction de chaque élément ;
  - Définir les différentes propriétés de chaque zone (données générales, propriétés thermiques) ;
  - Possibilité de désactiver le calcul des données thermiques pour les zones non concernées par l'étude.

Source : LABRECHE, S. (2014). *Forme architecturale et confort hygrothermique dans les bâtiments éducatifs, cas des infrastructures d'enseignement supérieur en régions arides.*

# Logiciel ECOTECT

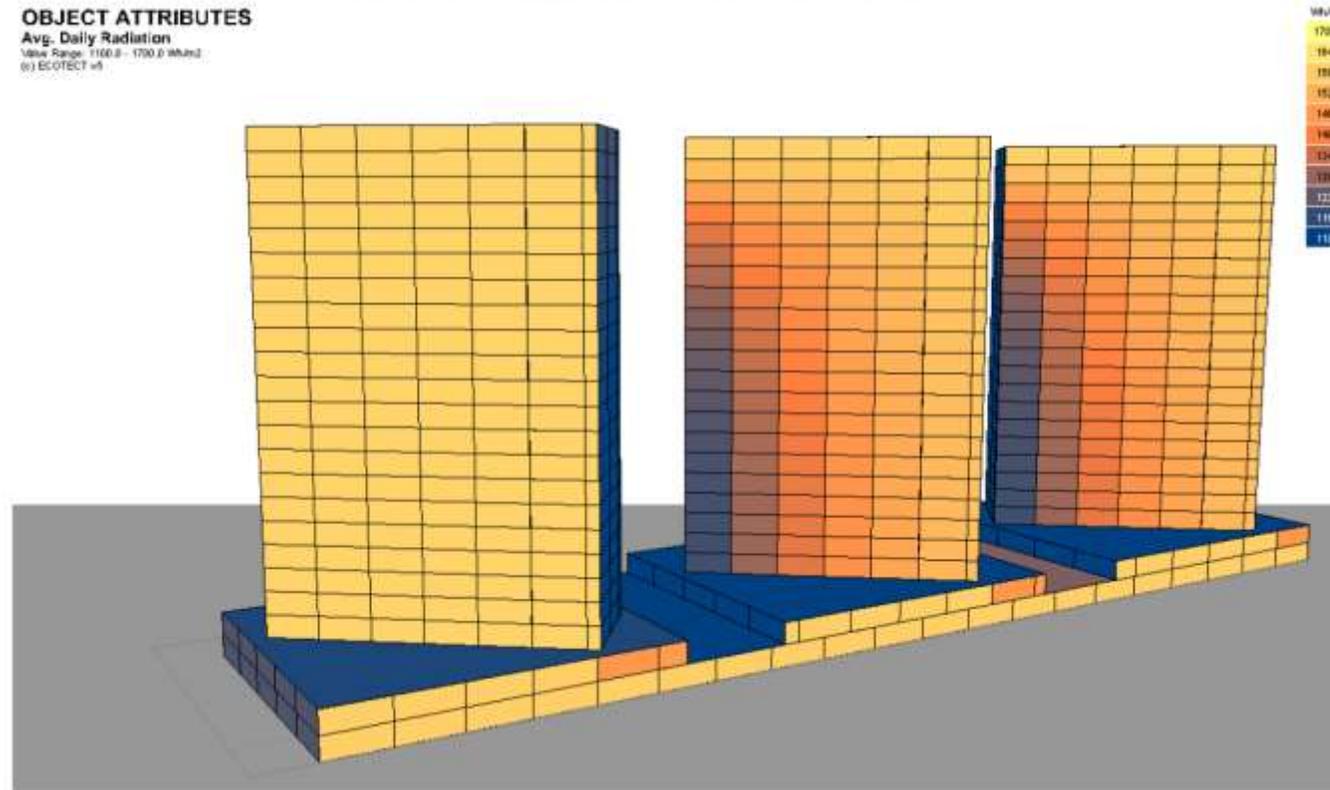
- **Analyse :**
  - Définir le paramètre à mesurer (température, gains thermiques, etc.) ;
  - Définir la période et l'heure d'étude ;
  - Lancer l'analyse.

Source : LABRECHE, S. (2014). *Forme architecturale et confort hygrothermique dans les bâtiments éducatifs, cas des infrastructures d'enseignement supérieur en régions arides.*

# Logiciel ECOTECT

*Etude d'irradiation réalisée avec le logiciel Ecotect*

**OBJECT ATTRIBUTES**  
Avg. Daily Radiation  
Value Range: 1100.0 - 1700.0 Wh/m2  
(c) ECOTECT v8





**l'analyse et l'investigation sur l'efficacité énergétique dans le bâtiment se fait d'abord à l'aide de plusieurs équipements de mesures tels que :**

# Thermomètre

- Un thermomètre est un instrument utilisé pour mesurer la température. Au fil des siècles, différentes propriétés physiques des matériaux ont été exploitées afin de concevoir des thermomètres de plus en plus performants.



# Hygromètre

- Un hygromètre est un appareil qui sert à mesurer l'humidité relative de l'air (l'hygrométrie relative). Ces appareils utilisent la température de condensation de la vapeur d'eau dans l'air (appelée point de rosée), des modifications de la capacité ou de la résistance électrique pour mesurer les différences d'humidité.



# Luxmètre

- Un luxmètre est un capteur permettant de mesurer l'éclairement dans le spectre visible. La mesure est absolue et non relative. L'unité de mesure est le **lux**.



**Thank you  
for your attention**