

TRAITEMENT INFORMATIQUE DES DONNEES CLIMATIQUES AVEC LE LOGICIEL MICROSOFT EXCEL

SUPPORT EXCEL VERSION 2016 — WINDOWS



Sommaire

1. INTRODUCTION.....	2
1.1 LES MESURES CLIMATIQUES	2
1.2 LA PRESENTATION DES MESURES	3
1.3 L'INTERPRETATION	8
2. EXCEL 2016.....	11
2.1 QUELQUES REPERES SUR L'INTERFACE	11
2.2 ASSISTANT D'IMPORTATION EXCEL	13
2.2 CREER UN MODELE DE GRAPHIQUE	17
2.2 LES VALEURS D'ERREUR.....	18
2.3 AUTOMATISATION DES TEXTES	19
3. CALCULS ET STATISTIQUES.....	20
3.1 CALCUL DES VALEURS MAXIMALES, MOYENNES ET MINIMALES.....	20
3.2 CALCUL DE LA VARIABILITE.....	20
3.2 REPARTITION DES VARIATIONS JOURNALIERES.....	21
3.3 CALCUL DU TAUX DE CONFORMITE ET GRAPHIQUE NUAGE DE POINT	24
4 GRANDEURS DE L'AIR HUMIDE	26
4.1 CALCUL DU RAPPORT DE MELANGE (HUMIDITE SPECIFIQUE)	26
4.2 CALCUL DE LA TEMPERATURE DE ROSEE EN °C.....	28
5 GRAPHES DE COMPARAISON.....	29
5.1 GRAPHIQUE COMPARATIF DE TYPE BOURSIER	29
5.2 LES COURBES DE TENDANCE.....	32
6. BIBLIOGRAPHIE.....	33

1. INTRODUCTION

1.1 LES MESURES CLIMATIQUES

L'objectif des mesures

- Réaliser le zonage climatique d'un bâtiment, ou d'une série de locaux.
- Surveiller le fonctionnement d'installation de régulation climatique
- Surveiller les conditions climatiques lors d'un transport
- Surveiller les conditions climatiques dans une vitrine et dans la salle pour répondre à des exigences de prêteur.
- Suivi de traitement de conservation-restauration.

La localisation, la représentativité, la fiabilité



- Bien **choisir l'emplacement** de la mesure pour qu'elle soit représentative du climat ambiant du lieu ou au contraire d'un microclimat suspecté.
- Se rappeler que le climat n'est pas uniforme dans une salle.
- Réaliser des mesures sur une année pour enregistrer l'impact saisonnier.
- Réaliser des mesures sur deux périodes (estivale et hivernale) d'au moins un mois si ce n'est pas possible sur une année.
- Lorsque l'on réalise des mesures, il est primordial de s'assurer de leur qualité et de leur fiabilité.
 - En contrôlant les appareils avant chaque nouvelle campagne de mesure.
 - En choisissant un site de mesure représentatif.
 - En assurant l'intégrité des mesures numériques enregistrée (identification du fichier original et des fichiers de travail, sauvegarde).
 - En assurant la traçabilité du processus du messire (documentation photographique, localisation des appareils sur plan, identification non équivoque des appareils par un numéro unique).

La précision et l'étalonnage des appareils

Chaque appareil a une précision spécifique en fonction de la technique de mesure et de la qualité de ces composants. Cette précision est fixée par le fabricant de l'appareil. Une déviation de la mesure peut apparaître dans le temps. Il est alors nécessaire de contrôler et de corriger l'appareil lors d'une opération de calibration. Cette calibration peut être confiée au fabricant ou distributeur de l'appareil si ce dernier propose ce service. Le réglage du capteur nécessite l'utilisation d'un logiciel pouvant corriger les références après calibration. Si ce logiciel est disponible, l'opération de calibration peut se faire par l'utilisateur à l'aide de différentes solutions salines¹.



Le contrôle de calibration des appareils de mesure peut s'effectuer de la manière suivante :

- Placer les appareils dans un milieu fermé (vitrine) à humidité relative constante (sel saturé²) ou en présence d'un appareil de référence.
- Réaliser une mesure à l'aide d'un psychromètre ou de l'appareil de référence et la comparer à l'appareil à contrôler.

¹ Solution saline Testo™ pour le contrôle et l'ajustement des sondes d'humidité, 11,3 %HR et 75,3 %HR, y compris adaptateur pour sonde d'humidité contrôle rapide et étalonnage de la sonde d'humidité Ordernumber: 0554 0660

² Vous pouvez utiliser le sel de nitrate magnésium hexahydraté ($Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ purum p.a) qui maintient une hygrométrie de 56 % à 18.5 °C selon le Handbook of Chemistry

- Si la valeur est comprise dans la fourchette de précision acceptée, par exemple $\pm 3\%$, le contrôle s'arrête là.
- Si la valeur est en dehors de cette fourchette, il faut la corriger sur les vis de réglage des appareils mécaniques ou via le logiciel ad hoc pour les appareils électroniques.
- Si vous ne disposez pas de logiciel de correction, il faut envoyer l'appareil aux fournisseurs pour une calibration d'usine certifiée.
- Si vous devez utiliser l'appareil sans pouvoir faire cette calibration, noter la différence de valeur et l'utiliser dans l'interprétation des données mesurées (coefficient de correction à appliqué par la suite.).
- Répéter le contrôle après quelques heures après l'étalonnage d'un appareil mécanique.

1.2 LA PRESENTATION DES MESURES

Conventions graphiques



Afin de présenter de manière claire des données sous forme graphique, un certain nombre de **conventions doivent être respectées**. Ces règles de conception sont issues de la statistique descriptive et visent à une présentation honnête et neutre, afin de limiter la possibilité de manipulation visuelle des résultats.

- L'utilisation d'un axe d'ordonnée primaire (axe vertical) pour les deux variables, température (T) et humidité relative, permet de distinguer plus facilement les deux grandeurs qu'en utilisant un axe primaire pour l'hygrométrie et un axe secondaire pour la température. En effet, dans le premier cas la courbe de température est quasiment toujours située en dessous de la courbe de l'humidité relative, alors que dans le deuxième cas les deux courbes se superposent en provoquant une confusion visuelle.
- Par convention, la valeur maximum de l'axe de l'ordonnée correspond à un nombre un peu plus grand que le nombre ou le pourcentage maximal représenté graphiquement. Toutefois dans le cas de l'humidité relative (HR), celle-ci est toujours comprise entre 0 et 100 % (unité principale 5 %), sauf besoin contraire (graphique de variabilité ou histogramme) ou présence de températures négatives. Mais alors il convient de rendre attentif le lecteur à cette modification.
- L'axe d'abscisse (axe horizontal) présente les dates avec un intervalle entre étiquette et graduation régulier (une date par jour ou une date par semaine). Si des heures se substituent à la place des dates, il convient de respecter également cette règle.
- Les deux axes reçoivent des titres, par exemple « Température en °C » et « Dates ». On indique systématiquement les unités des grandeurs affichées.
- Voici quelque exemple d'intervalle³ régulier en fonction de différents pas de programmation :

Pas de programmation	5 min.	10 min.	20 min.	30 min.	60 min.
1 jour	288	144	72	48	24
2 jours	576	288	144	72	48
1 semaine	2016	1008	504	336	168

- La longueur de l'ordonnée correspond à environ trois-quarts de la longueur de l'abscisse. Cette convention de mise en page s'appelle la règle des $\frac{3}{4}$: 1. Elle est importante et son non-respect peut donner une fausse impression au lecteur.
- Un quadrillage principal discret en gris plutôt qu'en noir est ajouté pour permettre au lecteur de repérer visuellement plus facilement un phénomène remarquable sur les courbes.

³ Microsoft Excel 2016 impose actuellement une limitation dans l'intervalle entre les étiquettes auparavant inexistante. Cet intervalle peut être partiellement adapté en optant pour un formatage automatique au niveau des étiquettes et un format dépassant 255 au niveau des graduations. Excel adapte alors partiellement le format automatique des étiquettes.

- Les couleurs des courbes des grandeurs représentées sont les suivantes :
 - Humidité relative → bleue
 - Température → rouge
 - Rapport de mélange → noir
- Lors de graphique superposant plusieurs courbes, par exemple l'hygrométrie d'une salle et celle d'une vitrine, on utilise le bleu pour la courbe prioritaire, comme un microclimat que l'on souhaite mettre en évidence, et le gris pour la courbe de référence comme la salle ou l'extérieur du bâtiment (macroclimat). On modifie alors l'ordre des courbes pour que la courbe prioritaire soit devant la courbe de référence.
- Afin de maintenir une lisibilité, il convient de limiter le nombre de courbe présentée à 3 ou 4.
- Afin d'informer le lecteur sur les conditions de mesure un cartouche de texte est placé en haut à gauche de chaque graphique. Celui-ci contient les informations suivantes :
 - Type ou modèle d'appareil et son numéro d'identification.
 - Intervalle de programmation
 - Précision de l'appareil et corrections éventuelles
 - Dernière calibration

Conventions de rédaction

Lors de rédaction de l'étude climatique **des informations complémentaires doivent absolument être indiquées pour le lecteur**, il s'agit :

- Du nom de l'institution mandante
- La localisation précise des appareils de mesure avec leur identifiant.
- La durée de l'enregistrement et l'intervalle de programmation. Les éventuelles discontinuités dans l'enregistrement (panne, déplacement, asynchrone)
- Le responsable de la gestion des appareils et de l'acquisition des données.

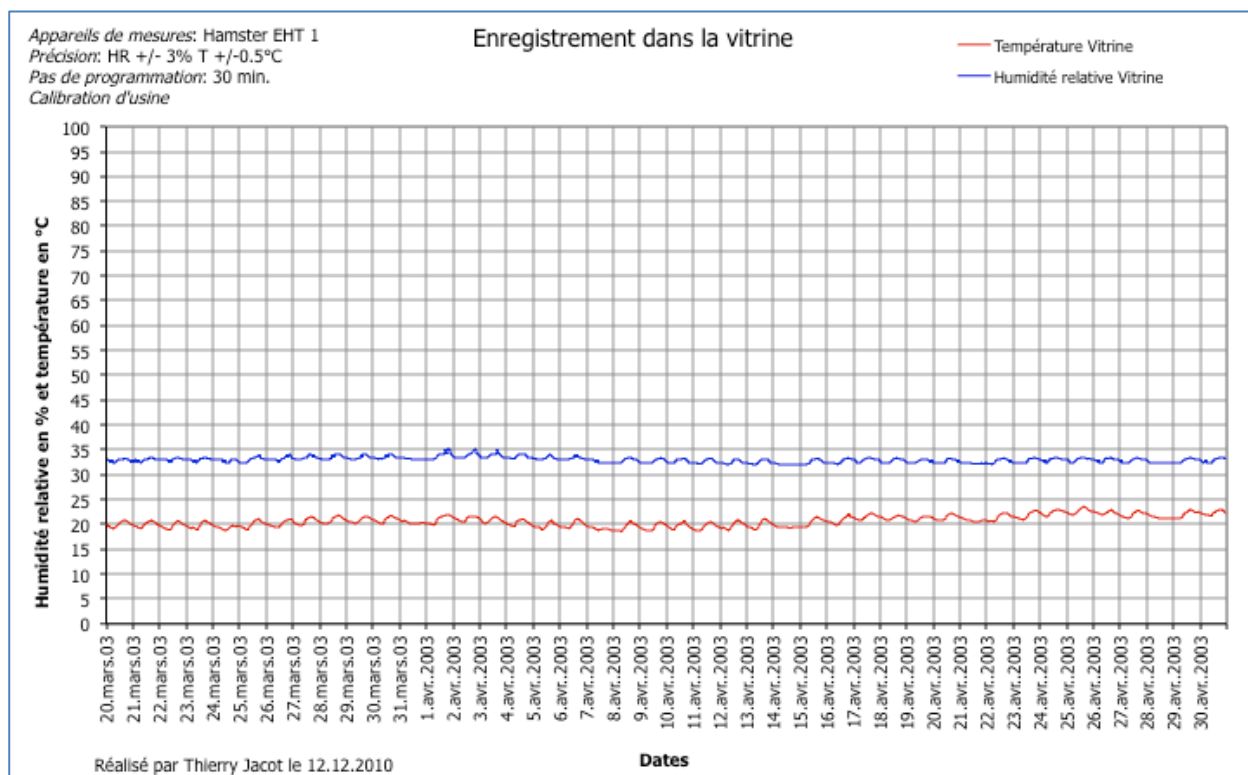
Chaque graphique ou tableau doit être précédé de son numéro et d'une légende courte (voir si dessous).

Tableau 1 : Valeurs statistiques calculées

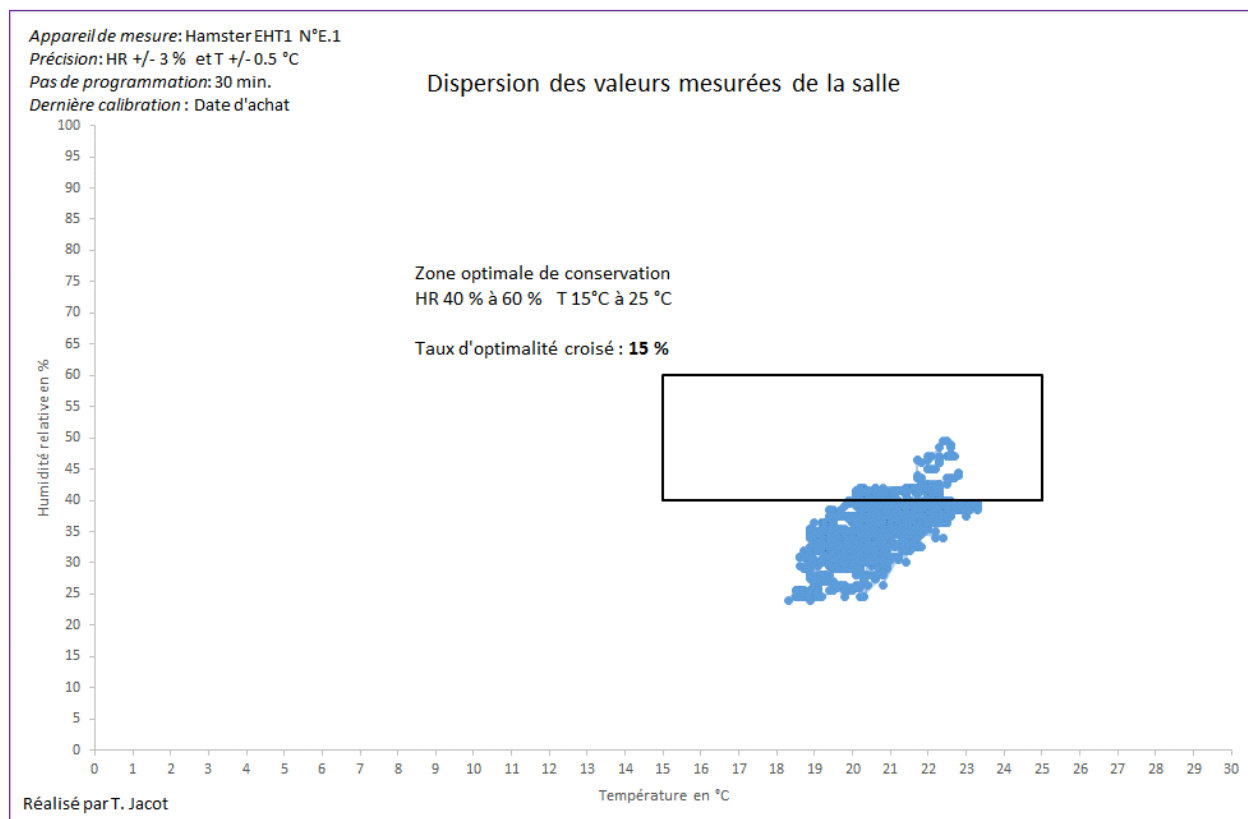
N° d'appareil	Station X	E. 1	E. 2	E. 3	...
Emplacement	Extérieur	Local A	Local B	Local C	...
Température en °C					
Maximale					
Moyenne					
Minimale					
Variation journalière maximale					
Variation journalière moyenne					
Taux de conformité					
Humidité relative en %					
Maximale					
Moyenne					
Minimale					
Variation journalière maximale					
Variation journalière moyenne					
Taux de conformité					

La présentation des valeurs statistiques calculées doit impérativement être présentée dans le texte principal et en aucun cas être placé en annexe. En effet, il s'agit d'informations à considérer comme prioritaires.

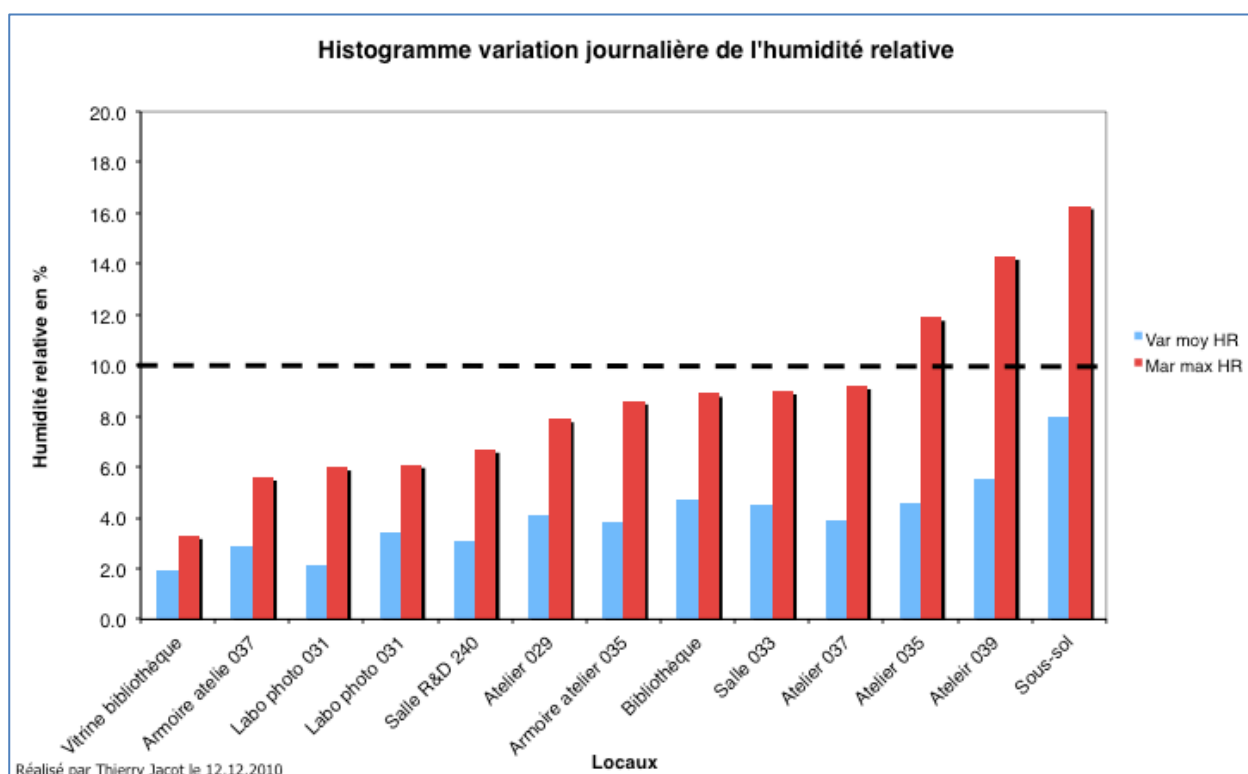
Graphique 1 : Évolution thermo-hygrométrique dans la vitrine



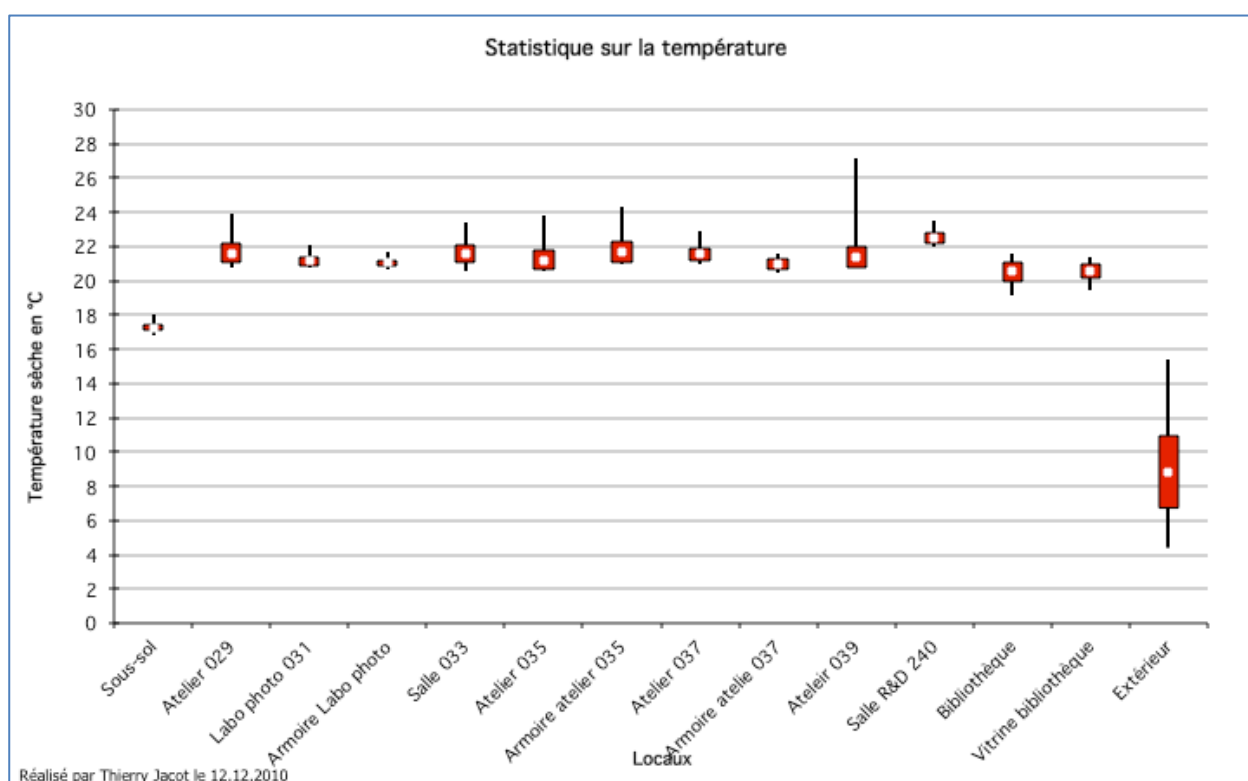
Graphique 2 : Dispersion des valeurs mesurées dans la vitrine (graphique de type nuage de points)



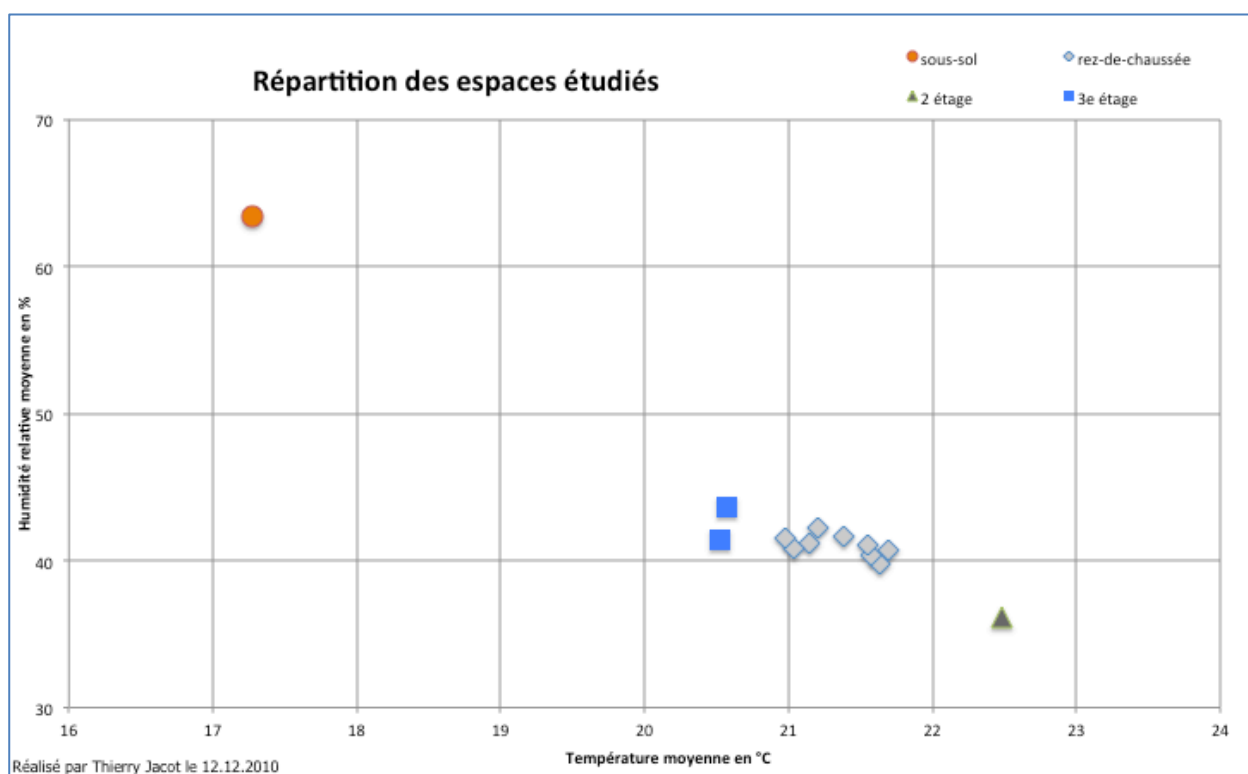
Graphique 3 : Histogramme des variations journalières de l'humidité relative (2D groupé)



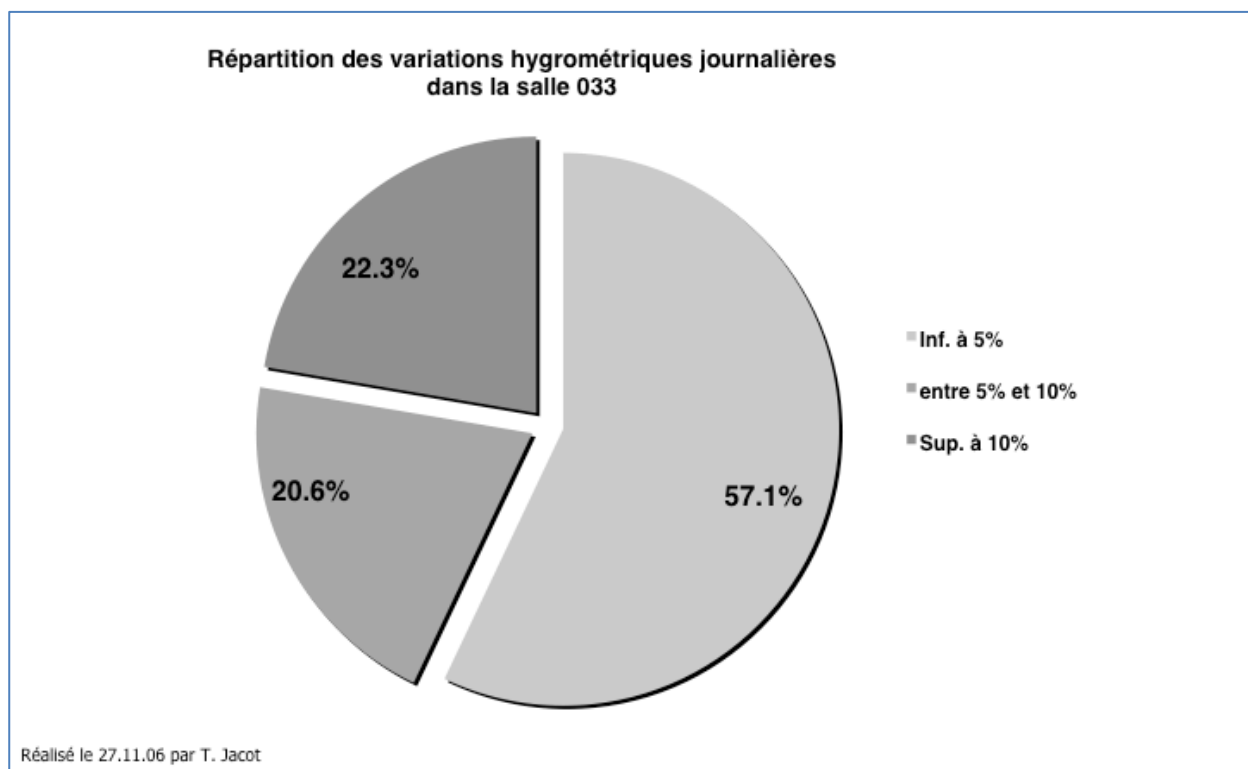
Graphique 4 : Comparaison des statistiques thermiques (graphique de type boursier)



Graphique 5 : Répartition des espaces étudiés en fonction des moyennes (variante nuage de points)



Graphique 6 : Répartition des variations hygrométriques journalières (graphique de secteur)



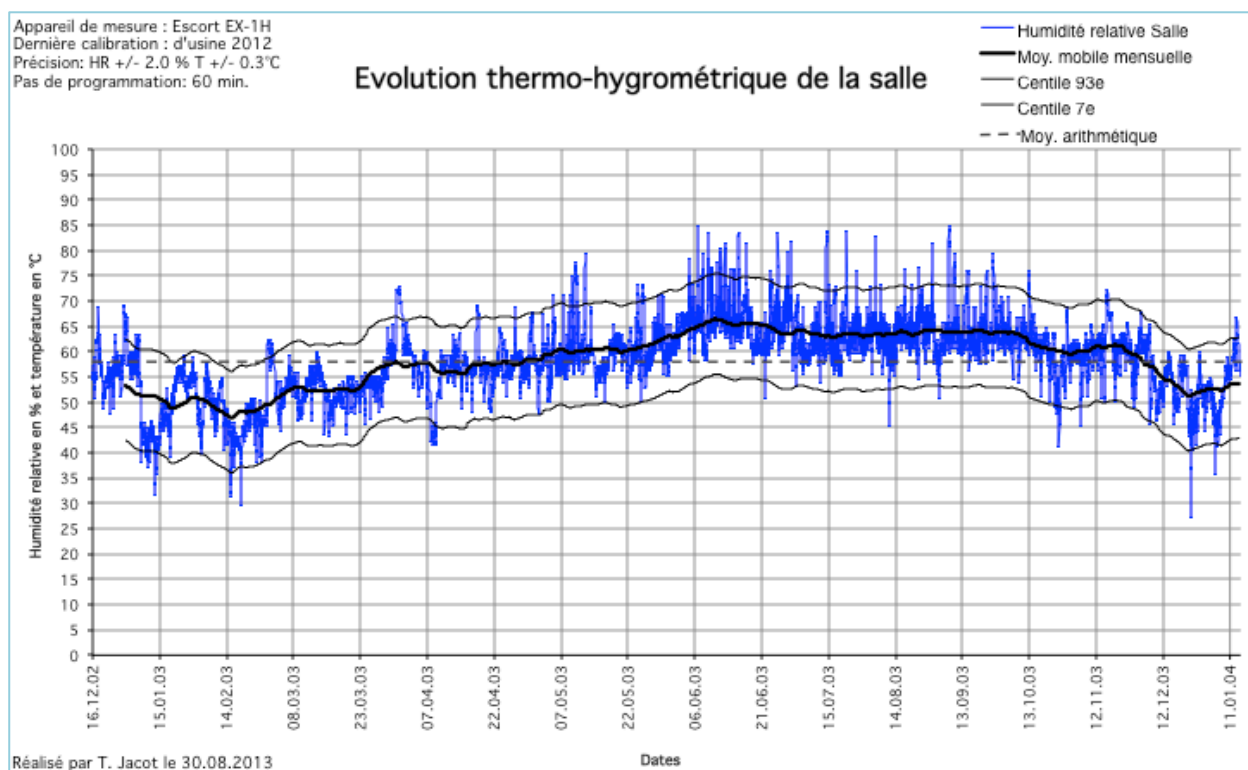
1.3 L'INTERPRETATION

Les indicateurs de qualité



Les indicateurs utilisés en conservation pour sanctionner la qualité d'un environnement climatique s'appliquent en priorité aux grandeurs physiques de l'air humide que sont **la température sèche et l'humidité relative**. Le rapport de mélange, qui définit la concentration en vapeur d'eau, n'est pas apprécié spécifiquement puisque ce n'est pas une grandeur qui impact directement les matériaux. Elle joue un rôle par contre prépondérant sur l'hygrométrie lorsque la température est constante. L'humidité relative **influence directement** la teneur en humidité à l'équilibre (THE) des matériaux hygroscopiques qui désorbent ou adsorbent de l'eau sous forme gazeuse dans une recherche perpétuelle d'équilibre. Ces variations d'humidité dans les matériaux provoquent des modifications dimensionnelles engendrant à leur tour des contraintes de pression pouvant mener dans les cas les plus graves à des dommages mécaniques, tels les soulèvements, fissures et autres déformations. L'enregistrement des conditions thermo-hygrométriques sur une année ou plus permet de caractériser le **climat d'origine**⁴ ou **climat historique** dans lequel un objet a été conservé pendant une longue période et auquel il s'est acclimaté⁵. Ainsi, toute réduction même minime des variations climatiques, placera l'objet dans des conditions de conservation ne provoquant plus de dommages similaires supplémentaires. Lorsqu'un objet est déplacé pour des besoins de restauration ou d'exposition, il convient de maintenir le plus possible le climat historique. Si ce n'est pas possible, il faut alors modifier la température et l'hygrométrie à une vitesse qui soit suffisamment lente pour permettre une adaptation progressive de l'objet.

Graphique présentant la mise en œuvre des recommandations de la norme AFNOR EN 15757 : 2010.



La norme AFNOR EN 15757, *Spécifications applicables à la température et à l'humidité relative pour*

⁴ NF EN 15757, 2010, p. 5

⁵ On entend par acclimatation, le fait que l'objet ayant subi les variations extrêmes du climat de conservation, a d'or et déjà dissipé les contraintes mécaniques liés à celui-ci et que toute nouvelle variation de même amplitude n'est plus dommageable.

limiter les dommages mécaniques causés par le climat aux matériaux organiques hygroscopiques, définit les limites inférieures et supérieures de **la plage cible** des fluctuations de l'humidité relative d'un climat historique comme étant respectivement les 7e et 93e centiles des fluctuations enregistrées au cours de la période de surveillance. Si les fluctuations suivent une distribution normale, ces limites correspondent respectivement à un écart type de -1.5 et de $+1.5$. Toutefois, si le mode opératoire spécifié ci-dessus établit que les fluctuations de l'humidité relative s'écartent de moins de 10 % du niveau saisonnier de l'humidité relative, la limite calculée est jugée plus sévère que cela n'est nécessaire et on peut n'en tenir aucun compte. Le seuil de 10 % de l'humidité relative peut être admis à la place sous la responsabilité d'un professionnel qualifié de la conservation. Le graphique de courbe ci-avant permet de visualiser ces limites.

Les indicateurs permettant de caractériser un environnement de conservation sont tout d'abord **les valeurs statistiques** telles que la moyenne et l'écart type, la moyenne, **les valeurs extrêmes observées**, soit minimales et maximales enregistrées définissant l'amplitude de la variation totale de la période concernée. En fonction de la durée de l'enregistrement, annuelle, saisonnière, hebdomadaire, etc. la variation consécutive à cette période de temps peut être définie. Les recommandations en conservation définissent parfois **la variation journalière ou horaire maximale**⁶ tolérable en fonction des matériaux à conserver et plusieurs tableaux indicatifs sont présentés à ce sujet ci-après.

Le taux de conformité ou d'optimalité est un autre indicateur intéressant permettant de sanctionner, dans un environnement donné, le niveau de respect *des plages cibles*⁷ recommandées ou prescrites. L'indicateur est défini soit en pourcentage soit en nombre de jour, en faisant le ratio des valeurs respectant une plage recommandée par rapport à l'ensemble des valeurs enregistrées. Ainsi on définit un taux de conformité pour l'hygrométrie, une autre pour la température et un dernier pour les deux grandeurs. Ce dernier, que nous appellerons taux de conformité croisé, est l'indicateur le plus restrictif puisqu'il sanctionne le respect simultané de la plage thermo-hygrométrique recommandée.

La variabilité du climat

On observe plusieurs **échelles de la variabilité**⁸ d'un paramètre climatique comme la température ou l'humidité relative ; instantanée, journalière, décadaire, saisonnière, annuelle, centenaires, millénaire (réchauffement de la planète). L'utilisation d'une courbe de tendance de type **moyenne mobile** appliquée à la température extérieure permet de mettre en évidence l'inertie thermique d'un bâtiment. En effet, la juxtaposition des courbes de la moyenne mobile de la température externe et de la température l'intérieure, permet d'observer le déphasage et l'amortissement thermique du bâtiment. Ainsi la moyenne mobile n'est pas un indicateur de qualité mais une courbe de tendance permettant d'affiner l'analyse climatique. De manière plus détaillée, voici quelqu'un des cycles et effets pouvant être enregistrés par des thermo-hygromètres lors de campagne de mesure :

1. Influence des conditions météorologiques régionales

- Cycle saisonnier (durée du cycle : 3-6 mois) (graphe avec moyenne mobile)
- Cycle décadaire (durée du cycle : 1-2 semaines)
- Cycle jour/nuit (durée du cycle : 24 heures)

⁶ Andrea Giovannini propose pour la conservation des documents papiers les valeurs seuils pour l'hygrométrie de ± 3 % par jour et ± 2 % par heure à l'intérieur d'une zone de conservation climatique saisonnière de 45 % à 55 % en période hivernale et de 50 % à 60 % en période estivale.

⁷ NF EN 15757, 2010, p. 6

⁸ Ashley-Smith, 1999, p. 213-214

2. Influence du bâtiment

- Effet de filtre, décalage ou déphasage des événements climatiques externes
- Effets liés aux parois opaques ou transparentes (effet de serre)
- Effets liés à l'emplacement dans le bâtiment (orientation des façades, locaux enterrés ou sous les toits).
- Effets localisés liés aux ponts froids, courant d'air, effet de cheminer
- Effets tampons liés aux matériaux de construction et d'aménagement

3. Influence des équipements de régulation interne

- Cycle de régulation (durée du cycle : 5 à 15 minutes)
- Perturbations liées au dysfonctionnement
- Mise en évidence de consignes de réglage inadaptées.

4. Influence des usagers

- Effets liés aux nombres d'occupant fréquentant les locaux
- Perturbations cycliques liées à l'activité ordinaire
- Perturbations ponctuelles liées à des activités extraordinaires
- Perturbations cycliques ou ponctuelles liées aux habitudes d'ouverture/fermeture des fenêtres et portes (aération estivale).

Comme nous l'avons mentionné, les variations de l'hygrométrie sont sources de modifications dimensionnelles spécifiques aux matériaux hygroscopiques et aux assemblages composites. Les peintures sur panneaux de bois sont bien connues pour leur sensibilité au changement d'humidité relative. Plusieurs auteurs (G. Thomson, S. Michalski) ont mis en évidence ce phénomène de fatigue des matériaux, parfois qualifié de stress dimensionnel. Toutefois, les dommages engendrés par les fluctuations de l'humidité relative ont souvent été exagérés. En observant les livres et autres objets de nos appartements subissant des variations annuelles de +/-25 % peu de dégâts sont attribuables à ces variations climatiques.

Le tableau 2⁹ : Michalski présent un tableau assez similaire mais donne plus d'explications dans la version complète.

Sensibilité Variation	Faible	Moyenne	Élevée	Très élevée
± 40 %	Aucun dommage ou léger dommage	Léger dommage ou dommage sérieux	Dommage sérieux	Dommage sérieux
± 20 %	Aucun dommage ou dommage minuscule	Aucun dommage ou léger dommage	Léger dommage ou dommage sérieux	Dommage sérieux
± 10 %	Aucun dommage	Aucun dommage ou dommage minuscule	Aucun dommage ou léger dommage	Léger dommage ou dommage sérieux
± 5 % d'HR	Aucun dommage	Aucun dommage	Aucun dommage ou dommage minuscule	Aucun dommage ou léger dommage

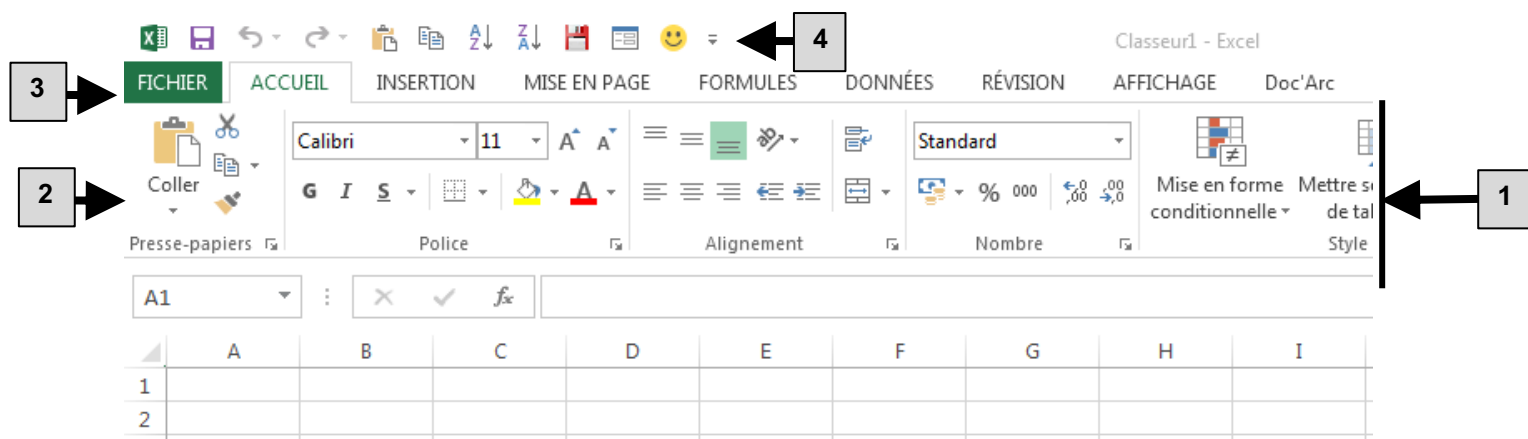
⁹ Agent de détérioration : Température inadéquate, 2018 [En ligne]

2. EXCEL 2016

2.1 QUELQUES REPERES SUR L'INTERFACE

La version d'Excel 2016 est en continuation avec la version 2013.

À l'ouverture des programmes, office vous place automatiquement sur l'onglet accueil, car cette partie du menu vous permet d'utiliser un modèle, un document vierge ou un document récemment utilisé sans avoir besoin de changer de menu. En cliquant sur Ouvrir d'autre Classeur on accède à la page de navigation contenant également au menu des options. Une fois sélectionner le classeur sur lequel on souhaite travailler, on retrouve **le ruban** [1] sorte de menu contextuel automatisé. Le ruban, comprend plusieurs **onglets** [2]. Chaque onglet se rapporte à des tâches spécifiques dans Excel. Pour afficher les différentes **commandes** sous chaque onglet, il vous suffit de cliquer sur les onglets en haut du ruban.



Lorsque l'on se trouve dans une feuille de calcul, sept onglets sont disponibles. L'onglet se situant à l'extrême gauche et nommé **Fichier** [3], donne accès aux actions de gestion des documents et aux options Excel et notamment les paramétrages d'enregistrement automatique du document. La partie droite de la fenêtre contient l'historique des documents ouverts et permet de les appeler rapidement.

L'onglet **Accueil**, qui est à sa droite, contient les commandes les plus fréquemment utilisées. Viennent ensuite les onglets **Insertion**, **Mise en page**, **Formules**, **Données**, **Révision** et enfin **Affichage**. Noter que lorsque l'on crée un graphique, de nouveaux onglets apparaissent pour leur gestion.

Il est possible et très pratique d'utiliser un accès rapide aux fonctions et paramétrage les plus couramment utilisés en personnalisant **la barre d'outils** [4] qui se situe à présent au-dessus du ruban. Cet accès direct est très pratique lors de paramétrages répétitifs.

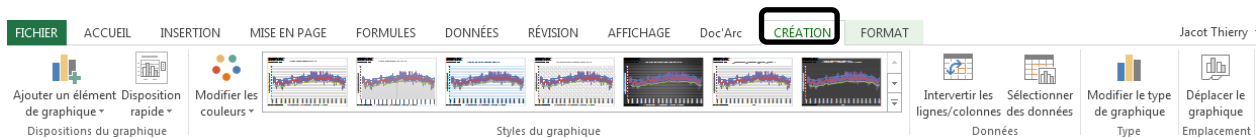
Une autre méthode existe pour afficher les commandes directement utilisables dans une situation précise. Il s'agit d'appeler par un clic droit sur la souris le **menu contextuel** en lien avec cette situation. Cette méthode est particulièrement pratique car elle affiche uniquement les commandes en lien direct avec l'action en cours.

Enfin une dernière méthode pour travailler sous Excel est bien entendu l'utilisation de *raccourci clavier*, comme Ctrl + C pour copier, que l'on trouvait dans les versions précédentes. Ces raccourcis clavier qui étaient auparavant indiqués à côté de la commande des menus déroulants ont pour la plupart malheureusement disparus puisque le ruban remplace les menus déroulant. Il reste néanmoins possible d'obtenir cette information en positionnant la souris sur la commande.

Une aide est bien sûr disponible dans le logiciel mais également sur le site Microsoft (menu Support) à l'adresse suivante : <http://office.microsoft.com/fr-fr/excel>.

Voyons à présent les deux onglets de paramétrage de la commande graphique et tout d'abord *l'onglet création*, qui regroupe les commandes :

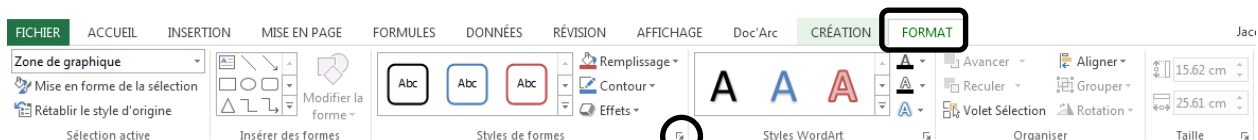
- Dispositions du graphique et le menu permettant d'ajouter un élément (axes, titres, étiquettes, quadrillages, courbes de tendance, etc.)
- Style du graphique prédéfini
- Données et la commande *Sélectionner des données*
- Type de graphique
- Emplacement du graphique



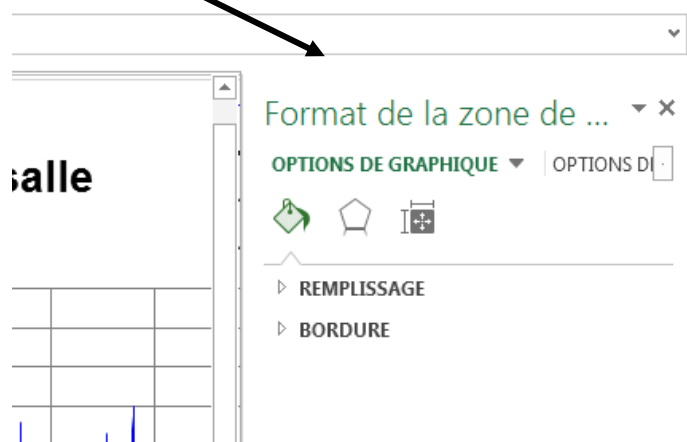
Puis *l'onglet format*, qui regroupe les commandes :

- Sélection active (zone du graphique sélectionné)
- Insertion image, forme et texte
- Style de formes
- Style de Word Art
- Organiser
- Taille

Certaines commandes placées dans les onglets disposent d'un bouton d'appel avec une flèche permettant d'accéder à des attributs supplémentaires. Ceux-ci apparaissent dans le volet Office situé à droite du graphique.



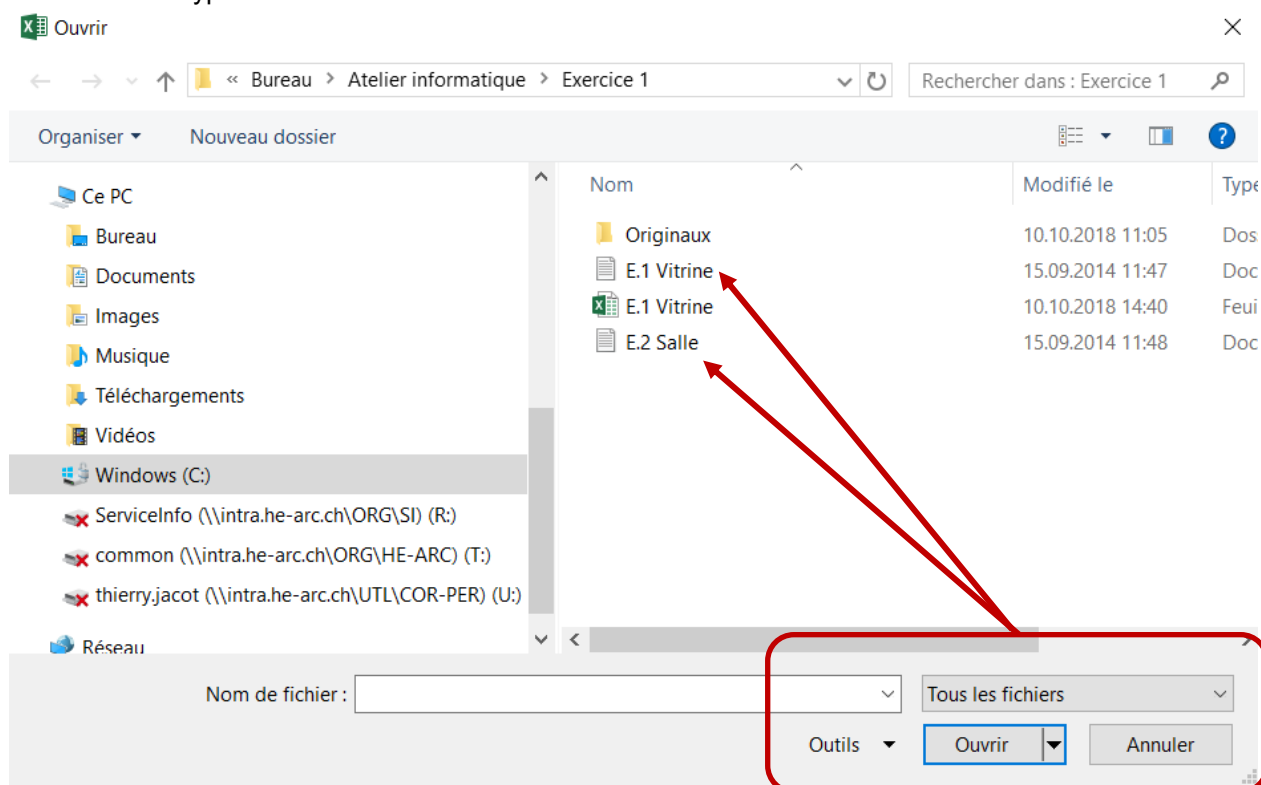
À noter que *l'onglet disposition* de la version précédente a disparu, et que les commandes qu'il comprenait ont été réparties dans les deux onglets restant.



2.2 ASSISTANT D'IMPORTATION EXCEL

La passerelle entre les logiciels propriétaire des systèmes d'enregistrement climatique comme Elpro, Testo, Rotronic et les autres et Excel consiste en des documents de type texte (.txt ou .csv) ordonnant les mesures de telle manière qu'elles soient compréhensibles pour Excel.

Les dates, les heures, les données de température et d'humidité relative sont structurées dans ce fichier avec des séparateurs entre les séries de données. Les logiciels propriétaires n'utilisent pas toujours les mêmes séparateurs mais ceux-ci sont la plupart du temps des virgules ou des points-virgules, des espaces ou tabulations. Si l'on ouvre ces documents texte avec un logiciel d'édition, on peut aisément observer l'organisation des données mais pour les transformer en donnée Excel, il est nécessaire d'ouvrir le fichier depuis Excel. Par défaut le navigateur de fichier Excel présente les documents directement lus par lui, il faut donc modifier la sélection du menu déroulant en bas à droite pour voir apparaître les documents de type texte.



L'importation des données provenant du document texte est réalisée en trois étapes grâce à ***l'Assistant importation de texte*** d'Excel. Cet assistant permet de faire comprendre à Excel la manière dont sont organisées les données et quels séparateurs sont utilisés, ainsi que de préciser le format des données de dates, heures et valeurs.

Dans la 1^{er} étape il faut indiquer l'origine du fichier afin d'éviter les caractères fantaisistes, surtout si on laisse une origine japonaise. Mais le plus important est de choisir ce qui décrit le mieux le fichier entre les deux options ***Délimité*** ou ***Largeur fixe***. La première est utilisée lorsque l'assistant reconnaît les séparateurs à l'étape 2 et le deuxième lorsqu'il faut placer manuellement des séparateurs de colonne pour assurer que les données sont placées dans des colonnes séparées. Cette deuxième option doit être utilisée pour les documents MétéoSuisse. Lorsque c'est fait on peut passer à l'étape suivante.

Étape 1

Assistant Importation de texte - Étape 1 sur 3

L'Assistant Texte a déterminé que vos données sont de type Délimité.

Si ce choix vous convient, choisissez Suivant, sinon choisissez le type de données qui décrit le mieux vos données.

Type de données d'origine

Choisissez le type de fichier qui décrit le mieux vos données :

☒ Délimité - Des caractères tels que des virgules ou des tabulations séparent chaque champ.
☐ Largeur fixe - Les champs sont alignés en colonnes et séparés par des espaces.

Commencer l'importation à la ligne : 1 Origine du fichier : MS-DOS (PC-8)

☐ Mes données ont des en-têtes.

Aperçu du fichier C:\Users\thierry.jacot\Desktop\Atelier informatique\Exercice 1\E.1 Vitrine.txt.

1	Hamster EHT1	ID:10930800
2	Description du module:	E.1 Vitrine
3		
4	"07.06.2014"	"00:00:00"16.2058.20
5	"07.06.2014"	"00:10:00"16.2058.20
6	"07.06.2014"	"00:20:00"16.2058.22

Annuler < Précédent Suivant > Terminer

Étape 2 prim

À cette étape, il est nécessaire de sélectionner les séparateurs utilisés en cochant les cases disponibles et en vérifiant que l'**Aperçu de données** présente des lignes correspondant aux futures colonnes dans Excel. Le cas échéant on peut choisir un **Autre** séparateur pas disponible.

Assistant Importation de texte - Étape 2 sur 3

Cette étape vous permet de choisir les séparateurs contenus dans vos données. Vous pouvez voir les changements sur votre texte dans l'aperçu ci-dessous.

Séparateurs

☒ Tabulation
☐ Point-virgule
☐ Virgule
☐ Espace
☐ Autre :

☐ Interpréter des séparateurs identiques consécutifs comme uniques

Identificateur de texte : "

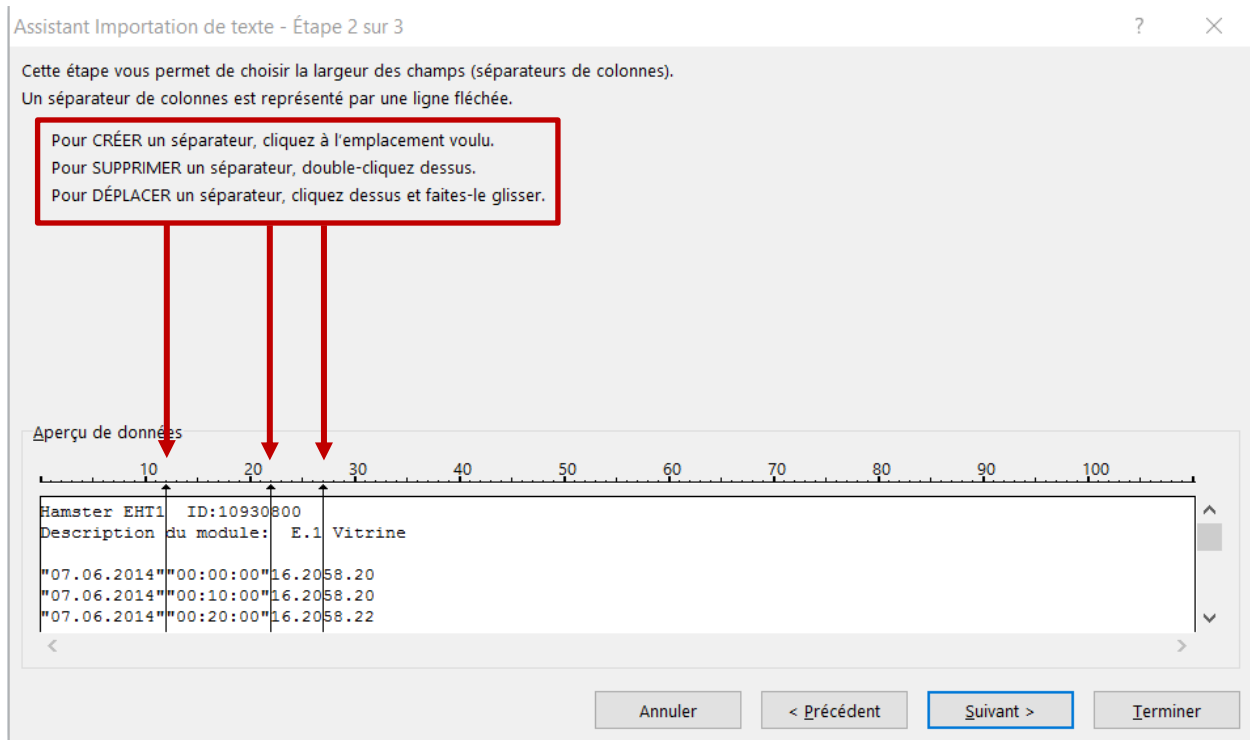
Aperçu de données

Hamster EHT1	ID:10930800			
Description du module:	E.1 Vitrine			
07.06.2014	00:00:00	16.20	58.20	
07.06.2014	00:10:00	16.20	58.20	
07.06.2014	00:20:00	16.20	58.22	

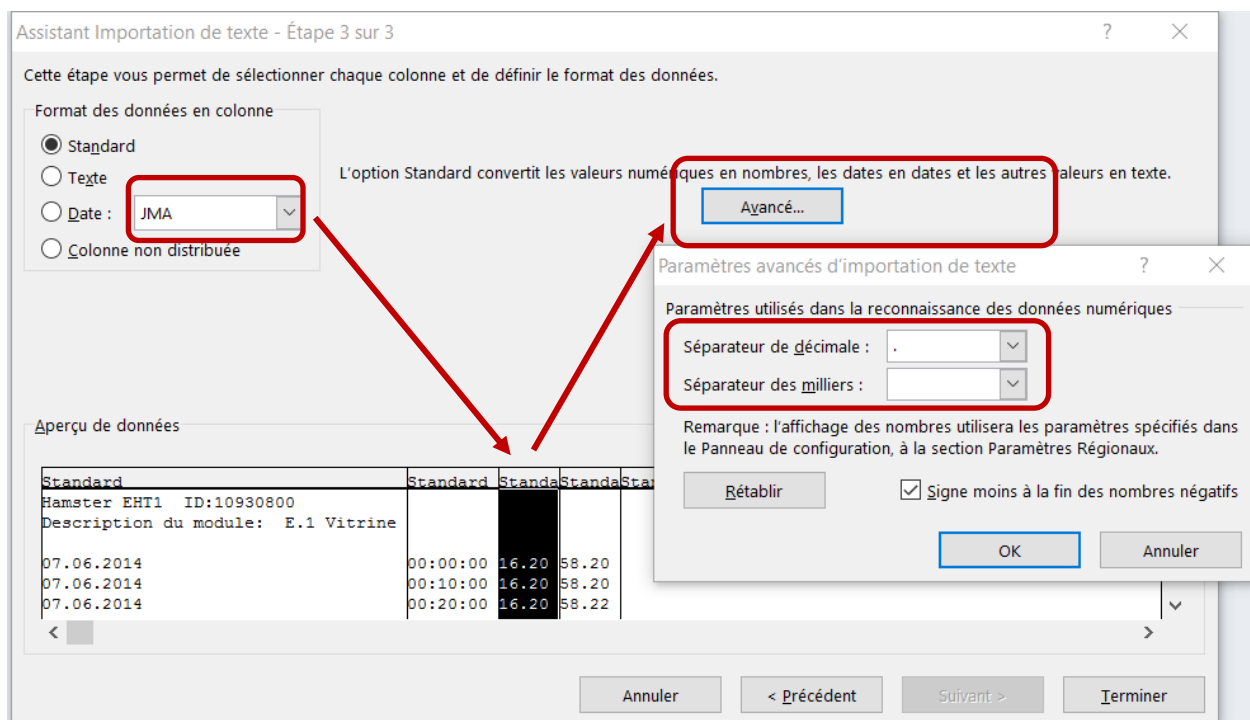
Annuler < Précédent Suivant > Terminer

Étape 2 bis

Si l'option **Largeur fixe** a été sélectionnée dans l'étape 1, la fenêtre de l'étape 2 est différente. Elle permet de placer manuellement des séparations entre les données en cliquant simplement à l'endroit qui les divise. Il faut bien viser ☺.



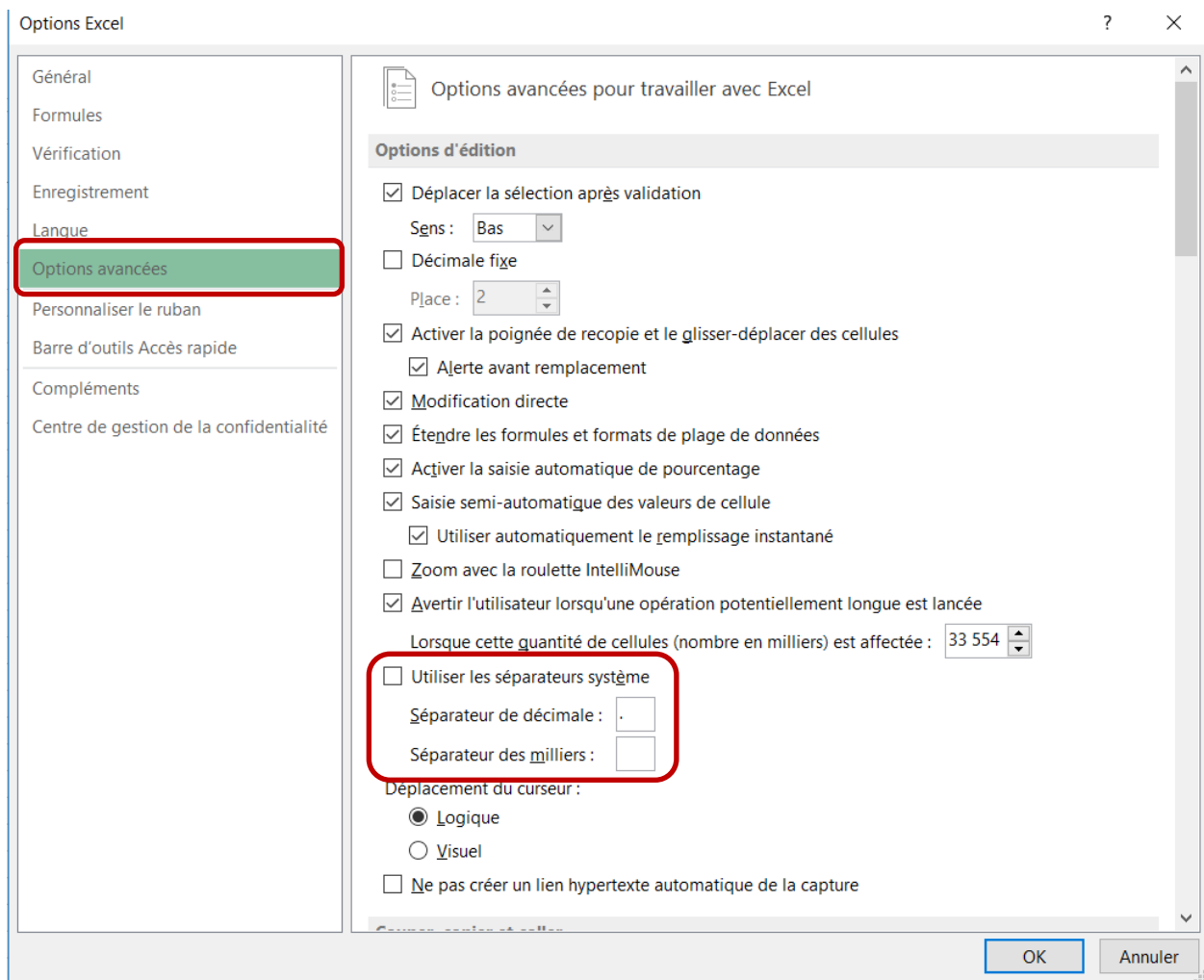
Étape 3



Lors de la dernière étape, il est possible de vérifier que l'assistant a bien interprété les données du fichier et d'indiquer le format de chaque colonne. Il faut pour affecter le format sélectionner la colonne puis choisir le format entre les cas options disponibles.

Certains systèmes d'exploitation utilisent des séparateurs décimaux différents, **le point ou la virgule**. Si le séparateur n'est pas le bon Excel considère les valeurs comme du texte et il n'est pas possible de faire des calculs statistiques. Pour vérifier si Excel a compris que les valeurs sont bien des chiffres... il suffit de regarder si les données sont justifiées à droite ou à gauche. À droite Excel considère que les données sont des valeurs, à gauche que c'est du texte.

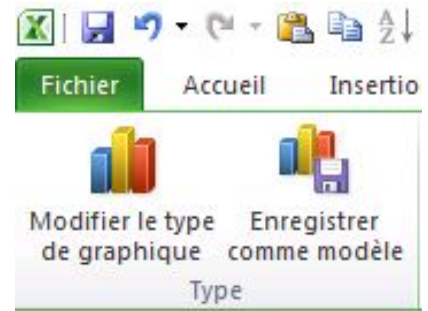
Évidemment plusieurs possibilités existent pour corriger cela. La plus simple est de modifier les paramètres dans l'étape 3 en activant le bouton **Avancé** qui ouvre une fenêtre où l'on peut faire les adaptations nécessaires. Dans certains cas la seule ouverture et fermeture de cette fenêtre suffit à régler le problème sans même changer le séparateur... encore un grand mystère excélien. Il est également possible de faire ces modifications dans les **Options avancées** d'Excel



2.2 CREER UN MODELE DE GRAPHIQUE

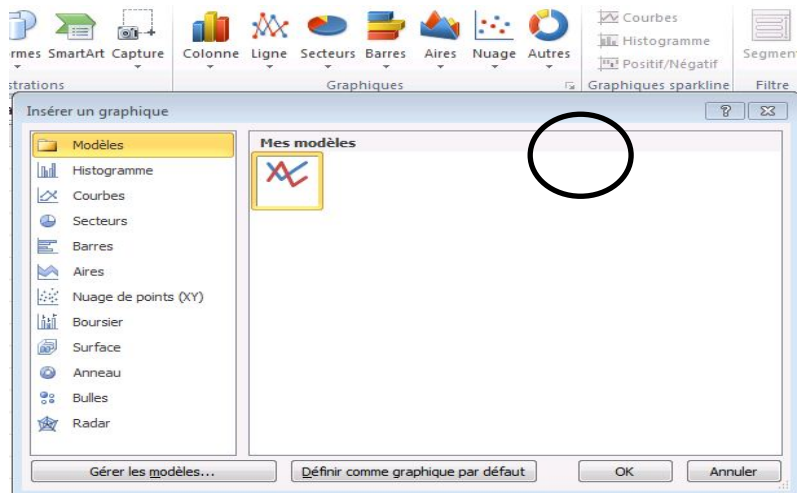
Lorsque l'on crée un graphique personnalisé, Excel offre la possibilité d'enregistrer celui-ci en tant que modèle pour être ensuite appliqué à des séries de données comparables. Cela permet de gagner du temps, en évitant les actions répétitives de la construction et de la mise en forme des graphiques, pour se concentrer sur la personnalisation des informations spécifiques.

Pour créer un modèle de graphique, il faut d'abord le réaliser et le finaliser à son goût. Une fois l'opération faite, on sélectionne le bouton Enregistrer comme modèle qui se trouve dans **l'onglet Création** du groupe **Outils de Graphique**.



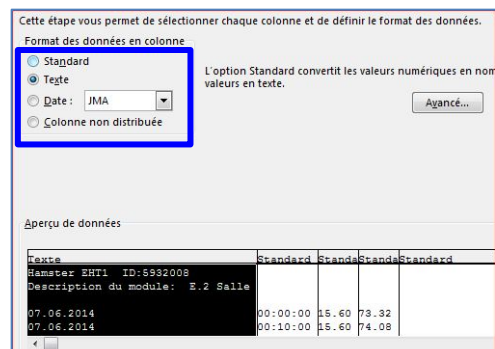
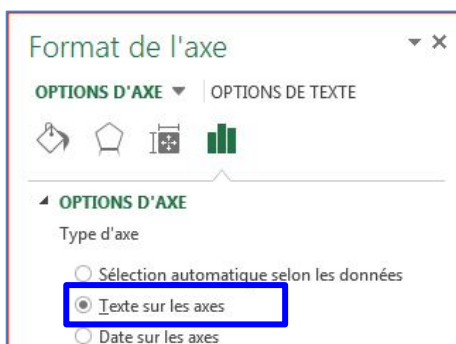
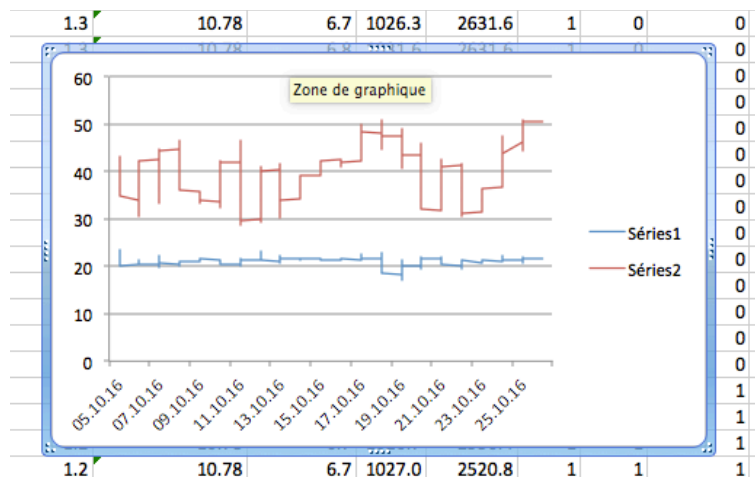
Après lui avoir donné un nom spécifique, Excel enregistre le modèle de graphique dans le dossier Chart Template au format .ctx.

Lorsque l'on souhaite appliquer tel ou tel modèle personnalisé, il faut d'abord sélectionner les séries de valeur concernées, puis on choisit son modèle dans la boîte de dialogue Insérer un graphique sous l'invitation Modèles.



Excel crée le graphique sur la feuille active, comme une insertion normale. Reste alors à le déplacer sur une feuille unique et à personnaliser les informations comme les titres des axes, le titre du graphique et les blocs texte.

Pour éviter l'effet de crénelage, il faut soit indiquer un format de texte lors de l'importation des données du fichier texte, soit indiquer un format texte sur les axes dans la fenêtre de *mise en forme* lors de la création du graphe.



2.2 LES VALEURS D'ERREUR

Il arrive parfois qu'une formule retourne une erreur. Certaines formulations prévoient des valeurs d'erreur quand elles ne sont pas utilisées correctement. La table ci-dessous présente les sept différentes valeurs d'erreur que l'on peut malheureusement parfois rencontrer. Elle commence toute par le signe #. L'explication permet de détecter l'origine de l'erreur dans la chaîne de formulation et de la corriger.

Table des valeurs d'erreur

Valeur d'erreur	Explication
#DIV/0 !	La formule divise un nombre par zéro. Comme Excel considère qu'une cellule vide a pour valeur zéro, une référence à une telle cellule génère cette erreur.
#NOM ?	La formule contient un nom qu'Excel ne reconnaît pas. La raison principale pour laquelle l'erreur apparaît dans votre formule est la présence d'une faute de frappe dans le nom de la formule.
#VALEUR !	La formule fait référence à une cellule qu'Excel ne peut pas utiliser dans un calcul, par exemple du texte.
#REF !	La formule fait référence à une cellule qui n'est pas valide, par exemple, une cellule d'une ligne qui a été supprimée.
#N/A	L'erreur survient le plus souvent avec les fonctions RECHERCHEV, RECHERCHEH, RECHERCHE ou EQUIV si une formule ne trouve pas une valeur référencée. Par exemple, la valeur recherchée n'existe pas dans les données sources.
#NUL !	La formule fait référence à une intersection entre deux plages de données qui n'ont pas de cellules communes.
#NUM ! ou #NOMBRE!	Une valeur numérique est incorrecte, par exemple une valeur négative à la place d'une valeur positive.
#####	La largeur de la cellule est trop petite pour afficher son contenu.

2.3 AUTOMATISATION DES TEXTES

Afin d'optimiser le modèle de classeur comprenant les graphiques de courbe et de dispersion, Il est possible d'automatiser la mise à jour des textes figurant dans les cartouches des graphes. Pour cela, il est nécessaire de préparer un tableau de saisie des informations à mettre à jour dans la feuille de calcul des données.

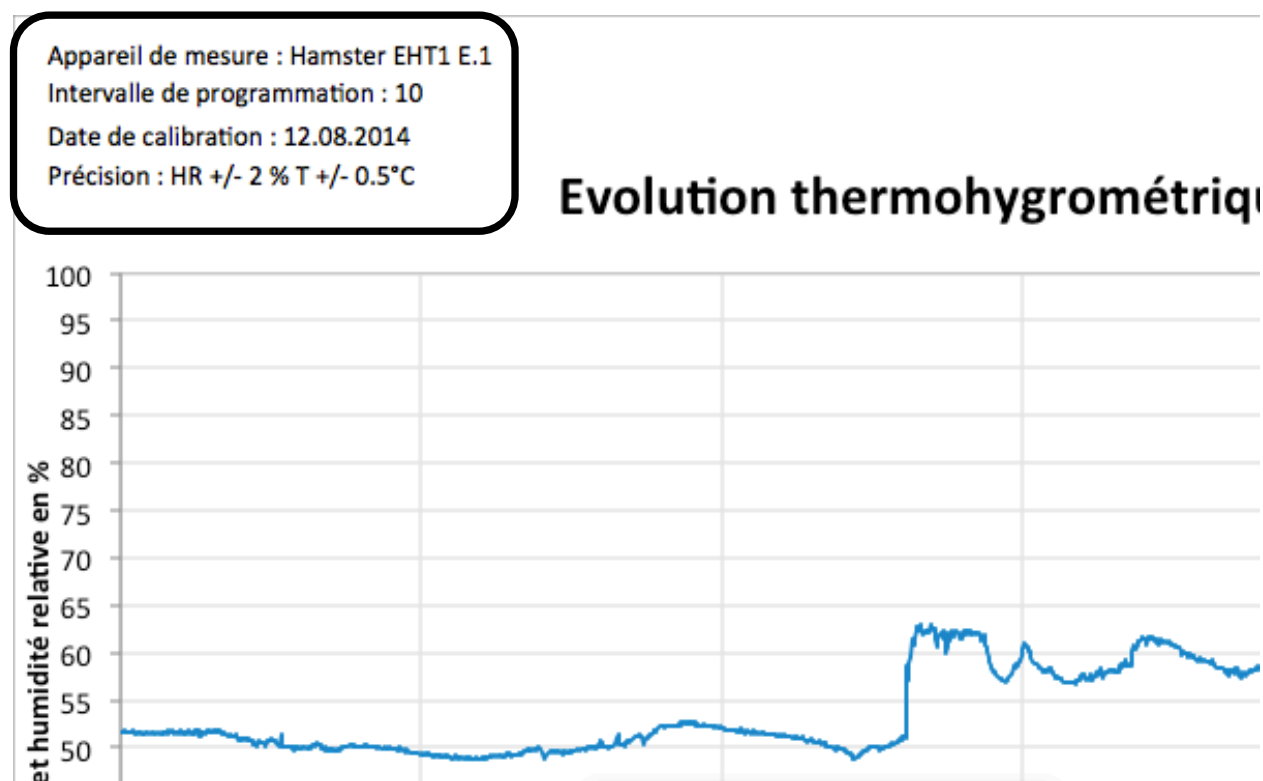
Pour le cartouche contenant les informations Appareil de mesure, Intervalle de programmation, Dernière de calibration et Précision, préparer le tableau comme suit.

15	S	T	U
16	Entête	Informations variables	Concaténer
17	Appareil de mesure	Hamster EHT1 E.1	S17 & T17
18	Intervalle de programmation	10 min.	S18 & T18
19	Date de calibration	12/08/14	S19 & T19
20	Précision	HR +/- 2 % T +/- 0.5°C	=S20 & T20

Ensuite dans le graphique créer un bloc texte sans y écrire du texte, se placer dans la barre de formule et taper = puis pointer vers la cellule U17. Répéter l'opération pour les 3 autres blocs texte.

Aligner les 4 blocs texte et les aligner à gauche puis les grouper. Ils seront ainsi plus faciles à manipuler. On pourra entre autres le copier/coller dans les autres graphes sans modifications.

Faire de même dans le graphique de nuage de point avec les informations sur la zone de conservation et le taux de conformité croisé.



3. CALCULS ET STATISTIQUES

3.1 CALCUL DES VALEURS MAXIMALES, MOYENNES ET MINIMALES

Formules statistiques

Écrire les formules identifiant les valeurs maximales, moyenne et minimales pour les quatre colonnes C à F, soit dans la cellule :

C1 : = MAX (C5 : C4325)

C2 : = MOYENNE (C5 : C4325)

C3 : = MIN (C5 : C4325)

Où C4325 est la dernière ligne contenant des valeurs, ou jusqu'à la dernière ligne du tableur soit pour Excel 2013 et Excel 2016 pour Windows, 1 048 576 lignes sur 16 384 colonnes.

3.2 CALCUL DE LA VARIABILITE

La construction de l'indicateur de variabilité se déroule comme suit :

- La formulation dans la cellule initiale
- L'incrémentation de la formule à l'ensemble des données (lignes et colonne)
- Le calcul statistique sur les colonnes (maximum et moyenne)

Tous les chiffres **bleus** sont des variables et les chiffres **rouges** le résultat de calcul.

Construction des données

	A	B	C	D	E	F
1		Maximum	20.2	65.6	2.7	9.78
2		Moyenne	18.3	58.3	0.7	1.5
3		Minimum	16.1	53.7	0	0
4	Dates	Heures	Température	Humidité relative	Var. jour. T	Var. jour. HR
5	07.06.14	00:00:00	16.2	58.2	0.7	1.76
6	07.06.14	00:10:00	16.2	58.2	0.7	1.76
7	07.06.14	00:20:00	16.2	58.22	0.7	1.76
8	07.06.14	00:30:00	16.2	58.24	0.7	1.78
149	08.06.14	00:00:00	16.8	57.34	0.6	1.2

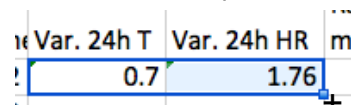
Formulation dans la cellule initiale

Se placer dans la cellule E5 et écrire la formule suivante : = MAX (C5 : C149)-MIN (C5 : C149)

Où (C5 : C149) est la plage de mesure s'étendant sur une période de 24 heures de 00 :00 à 00 :00. Cette plage de sélection dépend du pas de programmation du capteur. Dans notre cas, ce pas est de 10 minutes.

Incrémentation

Dans un premier temps incrémenter la formule sur la colonne F, puis sélectionner les deux cellules E5 et F5 et double cliquer sur le carré noir dans le coin droit en bas de la zone de sélection lorsque le curseur devient une croix noire.



Var. 24h T	Var. 24h HR	mi
0.7	1.76	

Formules statistiques

Écrire les formules identifiant les valeurs maximales, moyennes et minimales pour les colonnes E et F :

E1 : = MAX (E5 : E4325)

E2 : = MOYENNE (E5 : C4325)

E3 : = MIN (E5 : E4325)

3.2 REPARTITION DES VARIATIONS JOURNALIERES



La fonction FRÉQUENCE présente un intérêt lorsque l'on souhaite, dans le cas de la stabilité du climat, définir la **répartition des variations journalière** par intervalles représentatifs. En statistique, le mot fréquence possède deux sens qu'il ne faut pas confondre¹⁰. La fréquence absolue, que l'on nomme habituellement « effectif » et qui a pour symbole n , et qui correspond au nombre d'élément d'une catégorie et la fréquence relative, qui est le rapport entre l'effectif d'une catégorie et l'effectif total. Cette dernière est souvent présentée en pourcentage et son symbole est f ou %.

Définissons par exemple les références suivantes pour évaluer l'impact de la variabilité journalière de l'humidité relative :

- Situation adaptée à la conservation : < 5 %
- Situation augmentant le risque de dégradation des matériaux les plus sensibles : entre 5 % et 10 %
- Situation jugée préjudiciable : > 10 %

La fonction FRÉQUENCE nous permettra de calculer la répartition des variations selon ces trois critères d'appréciation. Mais attention, pour que toutes les valeurs soient prises en considération, la valeur de l'intervalle maximum du tableau de référence doit être supérieure à la valeur maximale enregistrée. Autrement dit si l'humidité relative maximale est 11 %, la référence devra être au moins de 11 %, dans notre cas 11.6%. Le plus simple est donc de formuler en $P11 = F1 + 1$ où F1 est la cellule contenant la valeur maximale de variation journalière.

Construction des données

	A	B	C	D	E	F
1		Maximum	20.2	65.6	2.7	9.78
2		Moyenne	18.3	58.3	0.7	1.5
3		Minimum	16.1	53.7	0	0
4	Dates	Heures	Température	Humidité relative	Var. jour. T	Var. jour. HR
5	07.06.14	00:00:00	16.2	58.2	0.7	1.76
6	07.06.14	00:10:00	16.2	58.2	0.7	1.76

Construction des références du calcul

	O	P	Q	R
8	Référence	Intervalle	Fréquence absolue	Fréquence relative
9	Inf. à 5 %	5	3923	90.8 %
10	Entre 5 % et 10 %	10	366	8.5 %
11	Sup. à 10 %	11.6	32	0.7 %
12	Somme de contrôle		4321	100.0 %

Formulation

On écrit = FRÉQUENCE (tableau_données ; matrice_intervalles)

Où tableau_données représente une matrice de valeurs soit dans notre cas la sélection de la plage de donnée *Variation journalière humidité relative* et où la matrice_intervalles correspond aux intervalles choisis pour la répartition des variations, dans notre cas 5, 10, 15. Ces valeurs sont inscrites dans les cellules P9, P10 et P11.

¹⁰ Grosjean, 2011, p.11

Formulation de la fréquence absolue

Calcul inférieur à 5 %	dans la cellule Q9	= FRÉQUENCE (\$F\$5:\$F\$4325;\$P\$9:\$P\$11)
Calcul entre 5 % et 10 %	dans la cellule Q10	= FRÉQUENCE (\$F\$5:\$F\$4325;\$P\$9:\$P\$11)
Calcul supérieur à 10 %	dans la cellule Q11	= FRÉQUENCE (\$F\$5:\$F\$4325;\$P\$9:\$P\$11)
Somme de contrôle	dans la cellule Q12	= SOMME (Q9:Q11)

Une fois écrit la première formulation, recopier pour les deux cellules Q10 et Q11. Les formules qui renvoient des matrices doivent être tapées sous forme matricielle¹¹. Donc pour transformer les formules il faut sélectionner les trois cellules Q9, Q10 et Q11 puis appuyer sur F2 (CTRL + U sous Mac et sous Bootcamp vérifier que les touches F soient activées) et sur CTRL + MAJ + ENTRÉE. Apparaît alors les accolades ouvrantes et fermantes { }, soit {= FRÉQUENCE (\$F\$5:\$F\$4325;\$P\$9:\$P\$11)}.

Formulation de la fréquence relative

Calcul inférieur à 5 %	dans la cellule R9	= Q9/\$Q\$12
Calcul entre 5 % et 10 %	dans la cellule R10	= Q10/\$Q\$12
Calcul entre 10 % et 15 %	dans la cellule R11	= Q11/\$Q\$12
Somme contrôle	dans la cellule R12	= SOMME (R9 : R11)

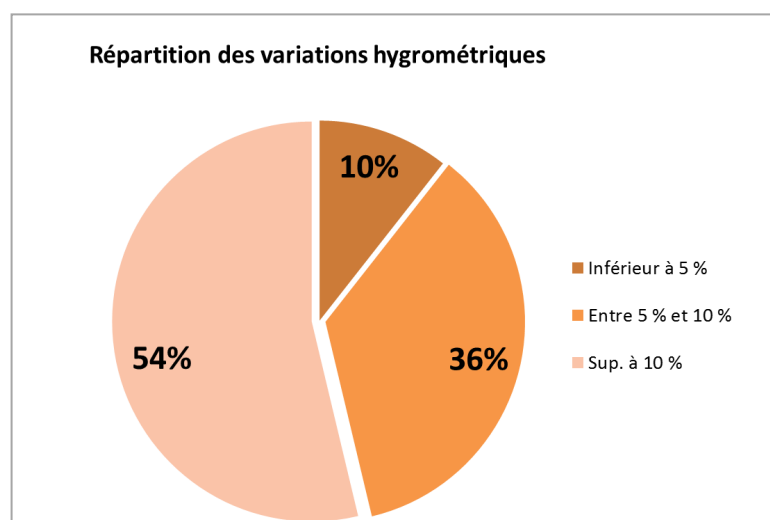
Appliquer le format % pour obtenir un pourcentage.

Une mise en forme conditionnelle peut être affectée à la cellule contenant la somme de contrôle en comparant cette somme aux nombres de ligne renvoyés pour le calcul du taux de conformité. Pour cela créer une nouvelle règle dans l'onglet Accueil/Mise en forme conditionnelle. Choisir « Appliquer une mise en forme uniquement aux cellules contenant... » la règle *Valeur de la cellule... Différente de...* puis sélectionner la cellule contenant la valeur du nombre de ligne, par exemple O9.

Pour plus de clarté on peut choisir une formulation SI avec message d'erreur si la somme ne correspond pas à la cellule de référence. Pour cela utiliser la formulation suivante :

En P12 = SI (Q12 < > O9 ; « Erreur ! » ; « ») où le signe < > signifie différent de...

Graphique de type secteur (ou camembert) de répartition des variations journalières



¹¹ Dans son sens mathématique une matrice est une collection ordonnée d'éléments. Autrement dit... un tableau. Excel traite ces collections sous forme d'un tableau interne. Les fonctions matricielles, qui effectuent des calculs sur ces tableaux internes, renvoient soit une valeur soit un tableau de valeurs. Le calcul matriciel permet de faire en une seule opération des calculs qui demanderaient normalement des étapes intermédiaires et notamment la création de colonnes supplémentaires.

Il est également possible de définir la répartition des variations en utilisant les formulations de somme conditionnelle NB.SI () et NB.SI.ENS () qui compte le nombre de cellules à l'intérieur d'une plage qui répondent à un critère donné.

Le critère que vous pouvez utiliser avec la fonction peut être exprimé sous forme de nombre, d'expression ou de texte, qui détermine les cellules à compter. Par exemple, l'argument critère peut être exprimé sous une des formes suivantes : 32, « 32 », « > 32 » ou « pommes ».

Construction des données

	A	B	C	D	E	F
1		Maximum	20.2	65.6	2.7	9.78
2		Moyenne	18.3	58.3	0.7	1.5
3		Minimum	16.1	53.7	0	0
4	Dates	Heures	Température	Humidité relative	Var. jour. T	Var. jour. HR
5	07.06.14	00:00:00	16.2	58.2	0.7	1.76
6	07.06.14	00:10:00	16.2	58.2	0.7	1.76

Construction des références du calcul

	N	O	P
8			
	Référence	Somme conditionnelle	Répartition relative en %
9	Inf. à 5 %	4212	97 %
10	Entre 5 % et 10 %	109	3 %
11	Sup. à 10 %	0	0 %
12	Somme de contrôle	4321	100 %

Formulation de la somme conditionnelle

Calcul inférieur à 5 %	dans la cellule O9	= NB.SI (\$F\$5 :\$F\$4325 ;"< = 5")
Calcul entre 5 % et 10 %	dans la cellule O10	= NB.SI.ENS (F5 :\$F\$4325 ;"< = 10"; F5 : F4325 ;"> 5")
Calcul supérieur à 10 %	dans la cellule O11	= NB.SI (\$F\$5 :\$F\$4325 ;"> 10")

Somme de contrôle	dans la cellule O12	= SOMME (O9 : O11)
-------------------	---------------------	--------------------

Formulation répartition en %

Calcul inférieur à 5 %	dans la cellule P9	= O9/\$O\$12
Calcul entre 5 % et 10 %	dans la cellule P10	= O10/\$O\$12
Calcul supérieur à 10 %	dans la cellule P11	= O11/\$O\$12
Somme contrôle	dans la cellule P12	= SOMME (P9 : P11)

3.3 CALCUL DU TAUX DE CONFORMITE ET GRAPHIQUE NUAGE DE POINT



L'**indicateur de qualité** que représente le **taux de conformité** est idéalement utilisé avec une représentation de la dispersion des données sous forme d'un nuage de point. Ce type de graphique se construit par convention, en plaçant la variable indépendante, dans notre cas la température, sur l'abscisse (axe horizontal) et la variable dépendante, ici l'humidité relative, sur l'ordonnée (axe vertical)¹².

L'exemple suivant permet de reconstruire le calcul du taux de conformité en utilisant les références d'adresses de cellule. Pour rappel, l'adresse d'une cellule se compose de la lettre de la colonne suivie du numéro de la ligne (A1 pour la première cellule d'une feuille de calcul). Une fois déterminé le taux de conformité croisé sera indiqué sur le graphique de dispersion des valeurs mesurées afin de préciser la proportion de point se trouvant dans la zone de conservation optimale. Cette zone sera définie à l'aide d'une série de donnée spécifique comprenant les couples T/HR de la zone puis ajouté au graphe comme nuage de point sans marqueur mais avec un trait plein reliant les points. **Pour la zone de conservation** suivante HR 40 %-60 % et T 15 °C-25 °C, les couples seront 15,40 15,60 25,60 25,40 et 15,40 une nouvelle fois afin de fermer la forme.

L'insertion d'une série spécifique pour construire la forme représentant la zone de conservation permet, lors d'une modification dimensionnelle de la zone de traçage du graphique, de la maintenir dans des proportions correctes. Cette mise en forme dynamique n'est pas possible si l'on dessine la zone avec l'outil forme rectangle. Pour que le rectangle soit positionné au-dessus du ou des nuages de point, il est nécessaire de modifier la mise en forme de celui-ci. En effet, Excel les considère comme deux objets de différente nature. Il faut donc relier les marqueurs du nuage de point entre eux par une ligne que l'on fera disparaître en la colorant en blanc. On peut alors changer l'ordre des séries.

Construction des données

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	M
1		Max	20.2	65.6	2.7	9.78	9.2	Patm	101325			
2		Moyenne	18.3	58.3	0.7	1.5	7.7					
3		Min	16.1	53.7			6.6					
4	Dates	Heure	T	HR			Rv	Pv	Ps	Calcul sur T	Calcul sur HR	Calcul sur HR/T
5	07.06.14	00:00:00	16.2	58.2	0.7	1.76	6.7	1078.7	1853.4	1	1	1

Construction des références du calcul

	N	O	P	Q	R
1	Référence		Taux de conformité relatif En %		En jours
2	Seuil maximal T	25	T	100%	30.0
3	Seuil minimal T	15	HR	82%	24.7
4	Seuil maximal HR	60	HR/T	82%	24.7
5	Seuil minimal HR	40	NB de jours total	30	
6	Date début	07.06.14			
7	Date de fin	07.07.14			

Formulation des conditions

Si la température est plus petite ou égale à la limite maximale et plus grande ou égale à la limite inférieure alors renvoyer 1.

Calcul sur la température dans la cellule K5 =SI(ET(C5<=\$O\$2;C5>=\$O\$3);1;0)

Calcul sur l'humidité dans la cellule L5 =SI(ET(D5<=\$O\$4;D5>=\$O\$5);1;0)

Calcul sur les deux paramètres dans la cellule M5 =SI(ET(K5=1;L5=1);1;0)

¹² Grosjean, 2011, p.96

Taux de conformité

Taux de conformité en % T	dans la cellule Q2	=MOYENNE(K:K)
Taux de conformité en % HR	dans la cellule Q3	=MOYENNE(L:L)
Taux de conformité en % HR/T	dans la cellule Q4	=MOYENNE(M:M)

La formule =MOYENNE(K:K) renvoi la moyenne calculée à partir de toutes les valeurs situées dans la colonne K. Le nombre de jour est déterminé en faisant la soustraction de la date de fin par la date du début de l'enregistrement. Sous Excel 2013 la formulation devient = JOURS (Date_début ; Date_fin).

Nombre de jours	dans la cellule Q5	=JOURS(O6;O7)
Taux de conformité en Jours T	dans la cellule R2 en jour	=Q2*\$Q\$6
Taux de conformité en Jours HR	dans la cellule R3 en jour	=Q3*\$Q\$6
Taux de conformité en Jours HR/T	dans la cellule R4 en jour	=Q4*\$Q\$6

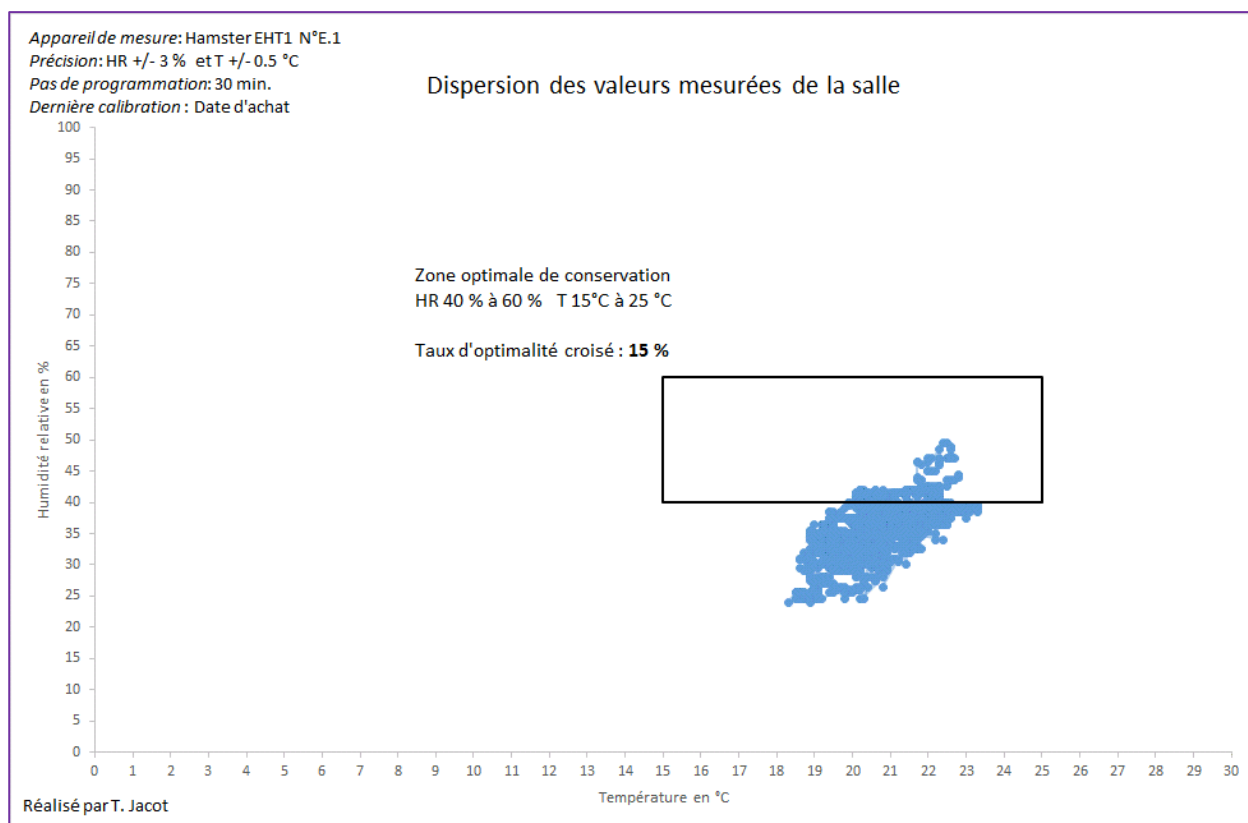
Texte pour la zone optimale de conservation

La mise à jour automatique du taux croisé en fonction de modification des références thermo-hygrométriques peut se faire en insérant un bloc texte et en renvoyant le contenu à la cellule du taux croisé en utilisant la formulation ="Taux de conformité"&ARRONDI(T4*100;1)&"%", dans notre exemple. De même Il est possible de renvoyer l'information sur les seuils de la zone de conservation en préparant deux cellules contenant les textes à utiliser :

= "Humidité relative "&O5&" % à "&O4 &" %"

= "Température "&O3&" °C à "&O2&" °C"

Graphique de type nuage de point avec zone de conservation et taux de conformité croisé



4 GRANDEURS DE L'AIR HUMIDE

4.1 CALCUL DU RAPPORT DE MELANGE (HUMIDITE SPECIFIQUE)

La création d'une matrice de calcul du rapport de mélange permet de passer d'une lecture ponctuelle avec le graphique de Mollier à une courbe continue réalisée à partir des enregistrements thermo-hygrométriques.

L'intérêt principal de cette représentation est l'analyse du climat en termes de teneur en vapeur d'eau. On pourra ainsi **vérifier l'impact des occupants ou de dispositif de régulation** du point de vue de la production de vapeur d'eau. Ce graphique permet de superposer les rapports de mélange de plusieurs points d'enregistrement afin de les comparer.

Le calcul du rapport de mélange fait appel à plusieurs algorithmes définissant la pression de vapeur saturante, la pression partielle de vapeur et pour finir le rapport de mélange. Il convient donc de préparer les données de base, soit les enregistrements fournis par les capteurs puis de construire pas à pas la formulation des calculs.

Rappel

Comme son nom l'indique, **l'humidité relative** n'est pas, à proprement parler, une « grandeur » physique. Elle renseigne simplement sur l'état de saturation de l'air en indiquant le rapport entre la pression de vapeur d'eau observée à une température donnée et la pression de vapeur d'eau à saturation, à la même température. En d'autres termes, l'humidité relative est une information biaisée sur l'état hydrique de l'air puisqu'elle dépend à la fois d'une grandeur hydrique pure, la pression de vapeur, mais aussi de la température sèche de l'ambiance. **L'humidité relative est directement influencée par la température et le rapport de mélange.** C'est donc une grandeur résultante des deux autres.



Le rapport de mélange, en revanche, est une grandeur physique qui indique sans ambiguïté, la quantité d'eau contenue dans un certain volume d'air humide. Cette grandeur est calculée en faisant le ratio de la quantité de vapeur d'eau contenue dans le volume d'air humide considéré, à la quantité d'air sec présent dans ce même volume. Le rapport de mélange s'exprime donc en kilogramme d'eau par kilogramme d'air sec (noté $\text{kg}_v/\text{kg}_{\text{as}}$) ou encore en gramme d'eau par kilogramme d'air sec (noté $\text{g}_v/\text{kg}_{\text{as}}$).

1) Préparation des données

La première étape consiste logiquement à importer les données de température et d'humidité relative dans un tableau Excel. La pression atmosphérique à prendre en compte est variable et dépend, en première approximation, de l'altitude du lieu considéré.

Table Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1		Max	20.2	65.6	2.7	9.78	9.2	Patm	101325
2		Moyenne	18.3	58.3	0.7	1.5	7.7		
3		Min	16.1	53.7			6.6		
4	Dates	Heure	T	HR	Var. T	Var. HR	Rv g/kg	Pv hPa	Ps en hPa
5	07.06.14	00:00:00	16.2	58.2	0.7	1.76	6.7	1078.7	1853.4
6	07.06.14	00:10:00	16.2	58.2	0.7	1.76	6.7	1078.7	1853.4
7	07.06.14	00:20:00	16.2	58.22	0.7	1.76	6.7	1079.0	1853.4
8	07.06.14	00:30:00	16.2	58.24	0.7	1.78	6.7	1079.4	1853.4

Les variables initiales sont représentées en **bleu** et les grandeurs calculées en **rouge**.
Soit

θ_s	Température sèche de l'air [°C]
ε	Humidité relative de l'air [%]
p_{atm}	Pression atmosphérique [Pa]

2) Calcul de la pression de vapeur saturante p_{vs} en [Pa]

La formule donnant le logarithme décimal¹³ de la pression de vapeur saturante en fonction de la température est d'une précision suffisante pour les applications courantes.

Formule : $\log(p_{vs}) = \frac{7,625 \cdot \theta_s}{241 + \theta_s} + 2,7877.$

Formulation dans Excel dans la cellule I5 : = 10^(((7.625*C5)/(241+C5))+2.7877)

Où

C5 : Température sèche

3) Calcul de la pression de vapeur p_v en [Pa]

Formule : $p_v = p_{vs} \cdot \frac{\varepsilon}{100}.$

Formulation dans Excel dans la cellule H5 : = D5*(I5/100)

Où

D5 : Humidité relative

I5 : Pression de vapeur saturante

4) Calcul du rapport de mélange R_v en [kg_v/kg_{as}]

Le facteur numérique 0,622 (valeur approchée) qui apparaît dans la dernière formule correspond au rapport des masses molaires de la vapeur d'eau M_v et de l'air sec M_a .

Formule : $r_v = 0,622 \cdot \frac{p_v}{p_{atm} - p_v}.$

Formulation dans Excel dans la cellule G5: = 0.622*(H5/(\$I\$1-H5))*1000

Où

I1 : Pression atmosphérique

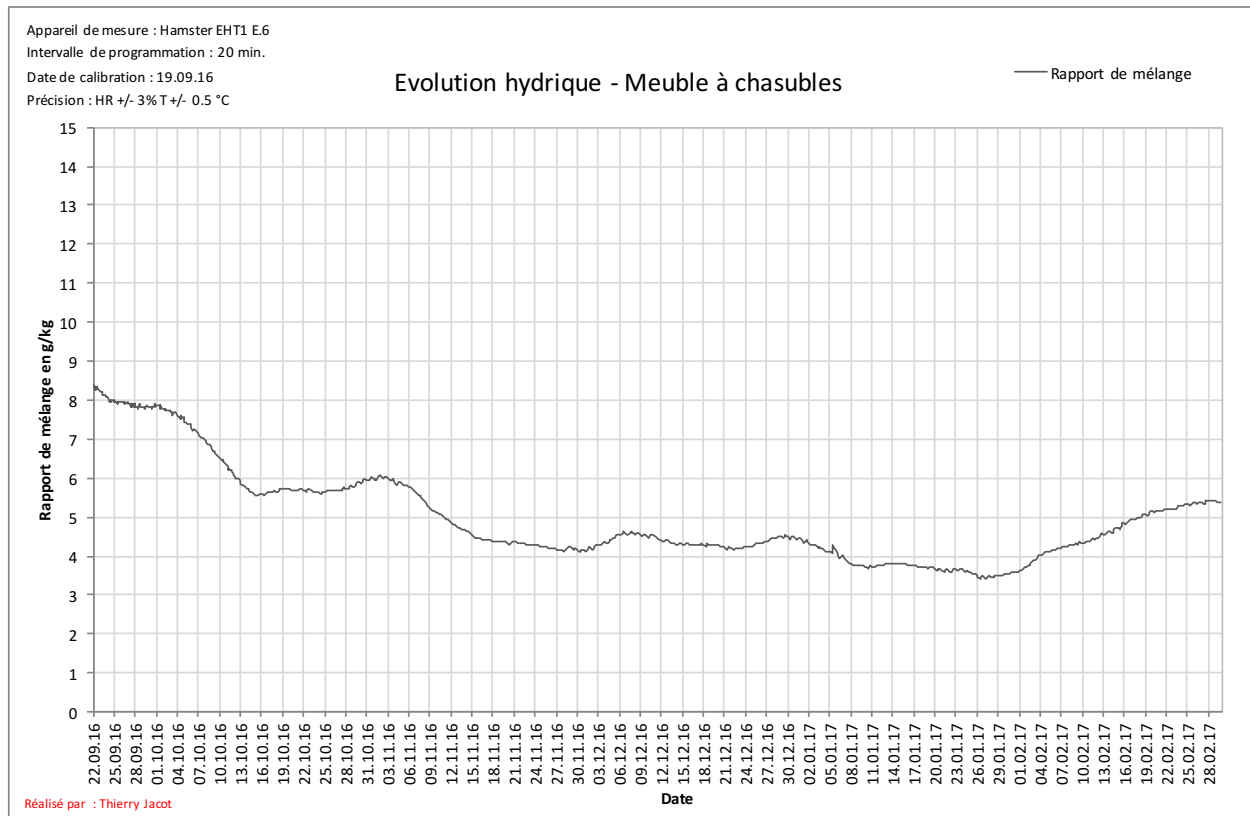
H5 : Pression de vapeur

¹³ Pour mémoire, on rappelle la relation fondamentale des logarithmes décimaux : $x = 10^{\log(x)}$.

5) Graphique du rapport de mélange

Il convient maintenant de transposer ces calculs en table permettant de construire un graphique.

Graphique du rapport de mélange



4.2 CALCUL DE LA TEMPERATURE DE ROSEE EN °C



Pour rappel la température de rosée est **la température à laquelle l'air devient saturé** pour une pression de vapeur d'eau P_v considérée. Or P_v intervient dans l'expression du rapport de mélange, si bien que la température de rosée représente encore la température de saturation pour un rapport de mélange constant.

Dans la pratique, déterminer T_r permet d'évaluer le risque de condensation dans les parties froides du bâtiment ou des locaux (pont froid, partie métallique ou en verre) sur la base de mesure d'ambiance. La suspicion de condensation pourra être confirmée à l'aide d'une mesure de surface des parties concernées en utilisant un thermomètre infrarouge.

$$\text{Formule}^{14} : T_D = \left(\frac{f}{100} \right)^{\frac{1}{8}} (112 + 0.9T) + 0.1T - 112$$

Formulation dans Excel : `=((D5/100)^(1/8))*(112+(0.9*C5))+0.1*C5-112`

Où

C5 : Température ambiante

D5 : Humidité relative

¹⁴ Wanielista et al. 1997.

5 GRAPHES DE COMPARAISON

5.1 GRAPHIQUE COMPARATIF DE TYPE BOURSIER

Préparation des données statistiques en tableau

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1		Max	23.0	96.5	14.9	73.9	9.8		
2		Moyenne	12.7	70.8	9.0	40.1	6.7		
3		Minimum	4.5	16.0	0.0	0.0	2.8		
4		Ecart-type supérieur	16.1	84.9			7.9		
5		Ecart-type inférieur	9.2	56.7			5.6		
6		Patm de référence (moyenne)		96072.8					
7			Extérieur						
8	Heure	Date	T	HR	Var T	Var HR	Rv	Pv	Ps
9	00:00:00	05.10.2021	9.6	79	8.9	28.7	6.21	949.3	1201.7
10	00:10:00	05.10.2021	9.6	77.6	8.9	28.7	6.10	932.5	1201.7

Formulation des calculs (pour l'extérieur)

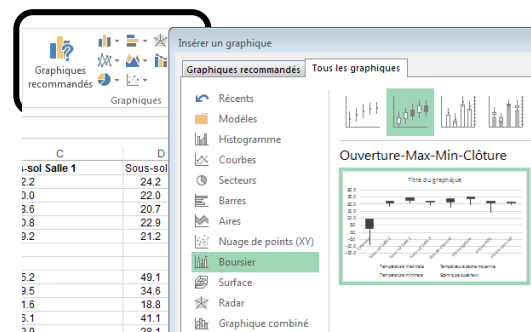
Température maximale = MAX(C9:C2000)

Température moyenne = MOYENNE(C9:C2000)

Température minimale = MIN(C9:C2000)

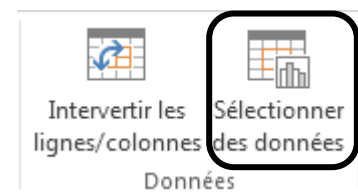
Écart type supérieur = B2+ECARTYPE(C9:C2000)

Écart type inférieur = B2-ECARTYPE(C9:C2000)



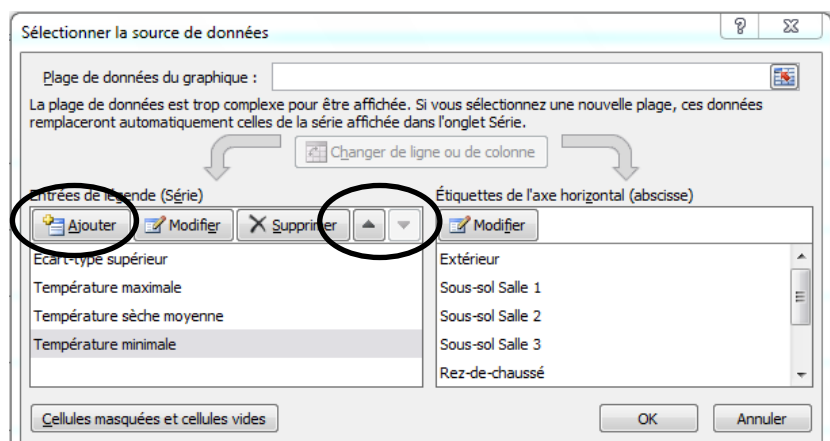
Sélectionner les quatre premières séries puis choisir dans **l'onglet insertion**, choisir dans **autre graphique** le 2^e graphe stock.

Une fois le graphe réalisé déplacez-le sur une nouvelle feuille de calcul puis ajouter la cinquième série. Pour cela aller dans **l'onglet création**, puis choisir la commande **sélectionner des données**.

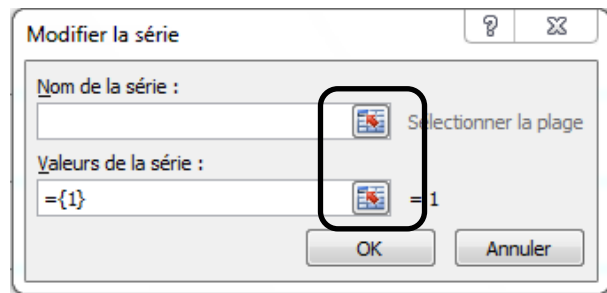


Une nouvelle fenêtre s'ouvre permettant d'ajouter une nouvelle série de données soit l'écart type inférieur.

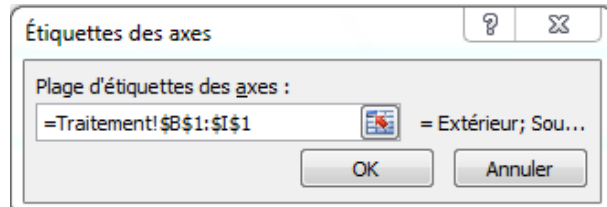
Modifier l'ordre des séries en plaçant l'écart type supérieur en haut de la liste.



Indiquer l'emplacement de la nouvelle série grâce à l'assistant de sélection ci-dessous.



Indiquer également l'étiquette de l'axe horizontal.



Paramétrer le format de la série de la température moyenne en ajoutant une marque carrée de couleur blanche. Pour cela utiliser le menu contextuel ou cliquer deux fois sur la série pour faire apparaître le volet Office contenant les options de mise en forme.

Finalement modifier la couleur du rectangle représentant l'écart type en rouge dans le cas du graphe de température et en bleu dans le cas du graphe de l'humidité.

La fonction écart type

L'écart type (S), qui correspond à la distance (ou déviation) moyenne des valeurs par rapport à la moyenne de la distribution, est la mesure de dispersion la plus couramment utilisée en statistique. En termes plus mathématiques, il s'agit de la racine carrée de la variance (S^2). L'écart-type tient compte de l'ensemble de données et est très sensible aux valeurs extrêmes. Il s'applique de préférence à une répartition symétrique des valeurs.

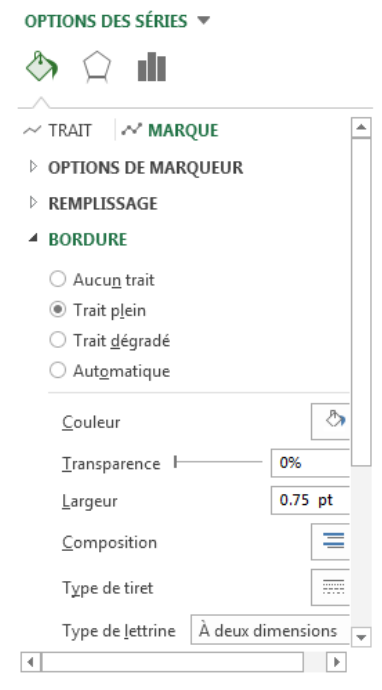
Intérêt de la représentation

On dispose pour chaque point de mesure d'une image des valeurs mesurées permettant de situer la moyenne représentée par un carré blanc, ainsi que la dispersion des valeurs autour de cette moyenne.

- Le carré blanc représente la moyenne calculée.
- La barre verticale donne l'amplitude des observations entre le minimum mesuré et le maximum.
- Les rectangles de couleur représentent 68 % des valeurs enregistrées. Elles sont comprises dans la fourchette de plus ou moins un écart type autour de la moyenne.

La norme AFNOR EN 15 757 détermine la plage cible, pour une distribution normale des fluctuations, comme étant comprise dans un écart type de ± 1.5 . Cet écart correspond à 86 % des valeurs enregistrées et donc 14 % des plus grandes variations sont exclues. Nous utiliserons toutefois dans nos traitements 1 écart type et non 1.5 car il permet, à mon avis, une meilleure lecture des différents profils étudiés. Vous pourrez facilement adapter ce paramètre en fonction des exigences de l'étude.

Mettre en forme des s...



Propriétés de l'écart type

Souvenez-vous des propriétés suivantes quand vous utilisez l'écart type¹⁵.

- On n'utilise l'écart type que pour mesurer la dispersion autour de la moyenne d'un ensemble de données.
- L'écart type n'est jamais négatif.
- L'écart type est sensible aux valeurs aberrantes. Une seule valeur aberrante peut accroître l'écart type et, par le fait même, déformer le portrait de la dispersion.
- Dans le cas des données ayant approximativement la même moyenne, plus la dispersion est grande, plus l'écart type est grand.
- L'écart type est zéro si toutes les valeurs d'un ensemble de données sont les mêmes (parce que chaque valeur est égale à la moyenne).

Quand on analyse des données normalement distribuées, on peut utiliser l'écart type parallèlement à la moyenne pour calculer des intervalles de données.

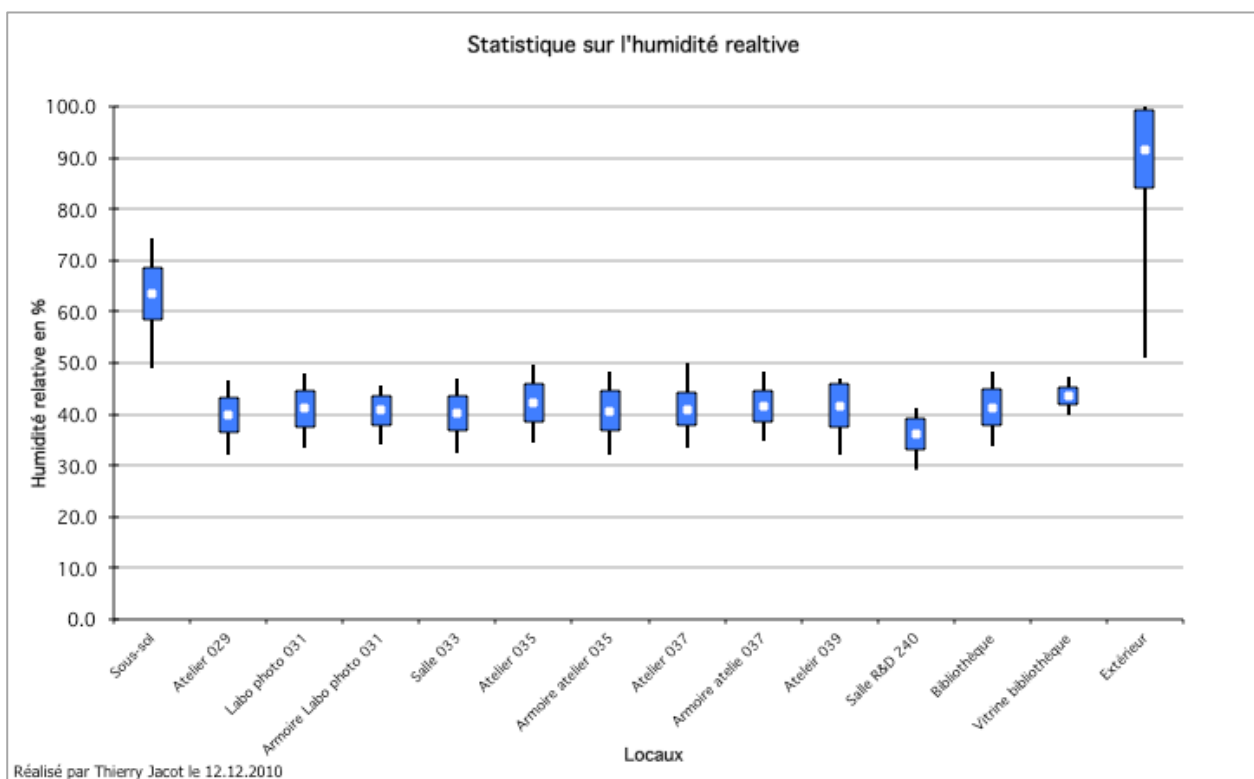
Si = moyenne, **S** = écart type et **x** = une valeur incluse dans l'ensemble de données, alors :

Environ 68 % des données se situent à l'intérieur de l'intervalle : — **S** < **x** < + **S**.

Environ 95 % des données se situent à l'intérieur de l'intervalle : — **2S** < **x** < + **2S**.

Environ 99 % des données se situent à l'intérieur de l'intervalle : — **3S** < **x** < + **3S**.

Graphique de type boursier



¹⁵ Variance et écart-type, 2018 [En ligne]

5.2 LES COURBES DE TENDANCE

Lorsque vous souhaitez ajouter une courbe de tendance à un graphique, vous avez le choix entre six types de tendance/régression distincts ; Linéaire, Logarithmique, Polynomiale, Puissance, Exponentielle, Moyenne mobile. Le type de données détermine le type de courbe de tendance à utiliser. Lorsque vous appliquez une courbe de tendance à vos données, Excel calcule automatiquement la valeur de sa racine carrée. Vous pouvez éventuellement afficher cette valeur dans votre graphique.

Courbe de régression linéaire

Une courbe de tendance linéaire est une droite qui représente l'équation de régression linéaire (de type $Y = a + bX$) entre deux variables. Cette courbe de tendance donne des informations sur l'orientation (positive ou négative) et la force (voir coefficient de corrélation r) entre les deux variables. Lorsque le coefficient de corrélation est élevé (proche de 1), cela indique que la variable X prédit ou explique bien la variable Y . Le coefficient de détermination (r^2), qui est la corrélation élevée au carré, correspond à la proportion de la variation de Y expliquée par X , souvent exprimé en pourcentage. S'il est par exemple de 0.3526, cela signifie que 35.26 % des variations de Y sont expliquées par X ¹⁶.

Moyenne mobile

Une courbe de tendance de moyenne mobile égalise les fluctuations des données afin de clarifier un motif ou une tendance. Une telle courbe utilise un nombre spécifique de points de données (définis par le biais de l'option Période), calcule une moyenne, puis utilise cette valeur comme un point de la courbe de tendance. Si la Période est égale à 2, par exemple, la moyenne des deux premiers points de données est utilisée comme le premier point de la courbe de tendance de moyenne mobile. La moyenne du deuxième et du troisième point de données est utilisée comme le deuxième point de la courbe de tendance, etc.

La superposition d'une courbe de tendance de type moyenne mobile sur 24 heures sur une série de données présentant une forte variabilité permet « d'effacer » les variations quotidiennes pour mettre en évidence les fluctuations de plus grande longueur d'onde comme les variations décennales, mensuelles et, a fortiori, annuelles.

Pour insérer une courbe de tendance dans un graphique on commence par sélectionner la série de données concernée par cette représentation.

Choisir ensuite la commande **Ajouter une courbe un élément de graphique** puis sélectionner autre option de la courbe de tendance.

Le volet Office permet alors de personnaliser le nom de la courbe de tendance qui apparaîtra dans la légende. C'est l'occasion de spécifier l'écart temporel choisi pour la moyenne, dans notre cas 144 soit l'équivalent de 24 heures pour un intervalle de mémorisation de 10 minutes.

Il ne reste plus qu'à valider le formatage de la courbe de tendance et d'observer le résultat sur le graphique. Il est possible de faire disparaître si nécessaire la série de données originale, en sélectionnant l'option **Aucun trait** au lieu de choisir une couleur comme c'est le cas pour la température dans l'exemple ci-dessous.

¹⁶ Grosjean, 2011, p. 98

Format de courbe de tendance

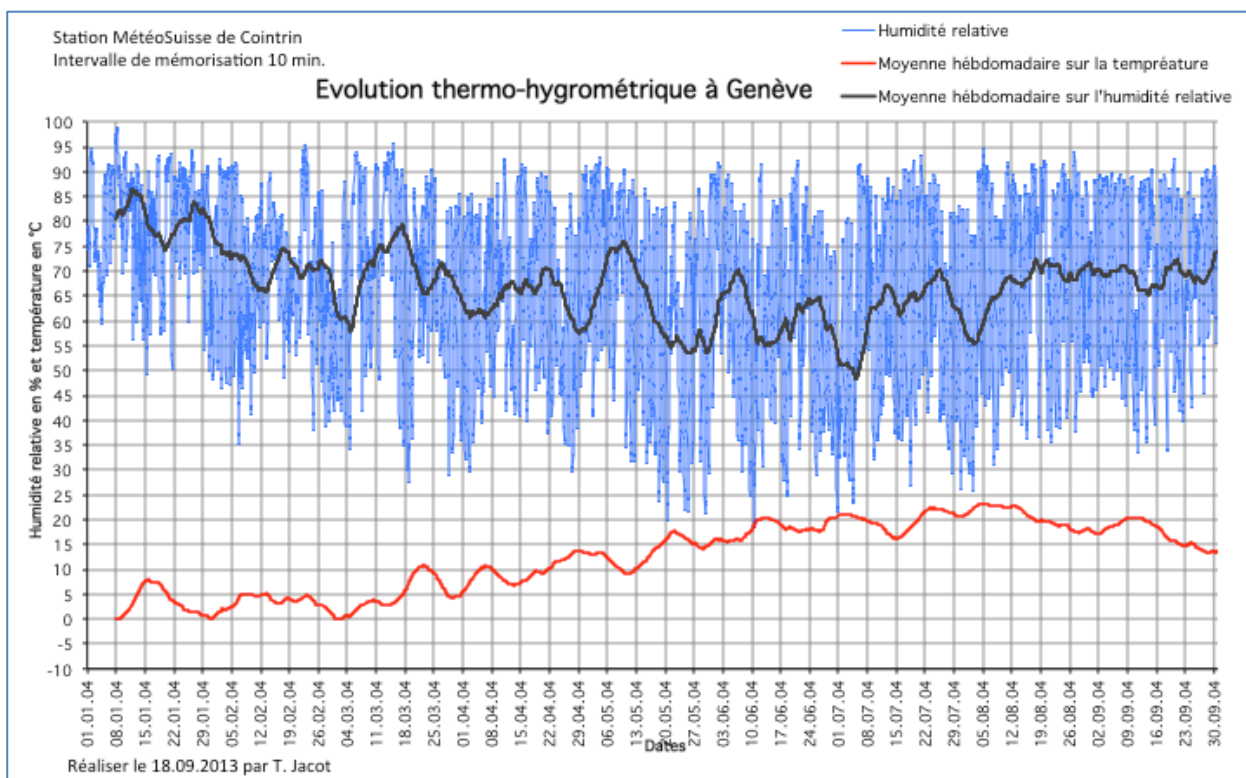
OPTIONS DE COURBE DE TENDANCE ▼



▲ OPTIONS DE COURBE DE TENDANCE

	<input type="radio"/> Exponentielle
	<input type="radio"/> Linéaire
	<input type="radio"/> Logarithmique
	<input type="radio"/> Polynomiale
	Ordre <input type="text" value="2"/>
	<input type="radio"/> Puissance
	<input checked="" type="radio"/> Moyenne mobile
Période <input type="text" value="14"/>	
Nom de la courbe de tendance	
<input type="radio"/> Automatique	144 Moy. mobile sur pér. (Humidité relative Salle)
<input checked="" type="radio"/> Personnalisé	<input type="text" value="Moy. HR mob."/>

Graphique de l'évolution des conditions climatiques à Genève.



6. BIBLIOGRAPHIE

- Agent de détérioration : Température inadéquate. Michalski, Stefan. In *Les dix agents de détérioration*, Site Institut canadien de conservation [En ligne]. 2018 Consulté le 30 août 2018. <https://www.canada.ca/fr/institut-conservation/services/agents-deterioration/temperature.html>
- Ashley-Smith, Jonathan. *Risk assessment for object conservation*. Butterworth & Heinemann ed., 1999, p. 213-214
- ASHRAE [American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers]. 2011. Museums, libraries and archives. Chap. 23 in *2011 ASHRAE Handbook : Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Applications, SI Edition*, Atlanta : ASHRAE.
- Bichlmair, Stefan et al. «The moving fluctuation range – a new analytical method for evaluation of climate fluctuations in historic buildings ». In Ashley-Smith et al (coord.). *Climate for collections, Standards and uncertainties*, Postprints of the Munich Climate Conference, 7 to 9 November 2012. Doerner Institut, Munich, 2013, p.439-449.
- Colson, Isabelle et Boyer, François. «De l'intérêt de l'étude climatique d'un bâtiment pour la conservation des collections », *In Situ* [En ligne] 2012 [consulté le 30 août 2018]. <http://insitu.revues.org/9959>.
- Diaz-Pedregal, Pierre. Le comportement du bâtiment et ses effets sur les collections. *Technè*, n° 11, 2000.
- Diaz-Pedregal, Pierre. Climat des magasins d'archives : objectifs, moyens, méthodes. Petit manuel de climatologie appliquée à la conception des bâtiments d'archives. Direction des Archives de Franc. 2009. [En ligne] 2012 [consulté le 30 août 2018]. https://francearchives.fr/fr/search?es_escategory=circulars&q=Pedregal

- Dubus, Michel et al. « Expositions temporaires et développement durable ». *Support Tracé*, n° 10, 2010, p. 128-132.
- Giovannini, Andrea. *De Tutela Librorum*. Edité par Hier und Jetzt Verlag. 2010
- Grosjean, François et Dommergues, Jean-Yves. *La statistique en clair*. Ellipses, Paris, 2011
- Kirby, Atkinson. « Environmental Conditions for the Safeguarding of Collection. A Background to the Current Debate on the Control of relative Humidity and Température ». *Studies in Conservation*, 59, 2014, p. 205-12.
- Les nouveautés d'Excel 2013, *Site Office France* [En ligne] 2013 [consulté le 30 août 2018]. <https://www.youtube.com/watch?v=32704TB9rck>
- Leissner, Johanna. L'impact du changement climatique sur les bâtiments historiques et les biens culturels. In *L'UNESCO aujourd'hui* 3 | 2011. p. 44-45
- Masahide, Inuzuka. « Modelling température and humidity in storage spaces use for cultural property in Japan ». *Studies in Conservation*, 61, sup.1, 2016, p.23-30,
- Martin Wanielista, Robert Kersten and Ron Eaglin. 1997. *Hydrology Water Quantity and Quality Control*. John Wiley & Sons. 2nd ed.
- NF EN 15757 Conservation des biens culturels — Spécifications applicables à la température et à l'humidité relative pour limiter les dommages mécaniques causés par le climat aux matériaux organiques hygroscopiques. AFNOR, novembre 2010.
- NF EN 15758 Conservation des biens culturels — Conservation des biens culturels — Méthodes et instruments de mesure de la température de l'air et de la surface des objets. AFNOR, novembre 2010.
- NF EN 16242 Conservation des biens culturels — Modes opératoires et instruments de mesure de l'humidité de l'air et des échanges d'humidité entre l'air et les biens culturels. AFNOR, novembre 2013.
- Nguyen Thi Phuong. « Climat des magasins : vers de nouvelles consignes conciliant développement durable et conservation ? », In *Situ* [En ligne] 2012 [consulté le 30 août 2018]. <http://insitu.revues.org/9795>.
- Padfield, Tim et al. Contrôle de la dérive thermique du climat pour les archives et les réserves. In *Les nouvelles rencontres de la conservation préventive des 8 et 9 juin 2017*. AprévU D'EDITER, Paris, 2017, p. 107-113.
- Ræder Knudsen, Lise and Steen Rosenvinge Lundbye. Performance of Danish low-energy museum storage buildings. In *ICOM-CC 18th Triennial Conference Preprints*, Copenhagen, 4–8 September 2017, ed. J. Bridgland, art. 1515. Paris: International Council of Museums.
- Roche, Alain et Gilot, Sébastien. « Climat et bio contamination. Études de cas d'archives », In *Situ* [En ligne] 2012 [consulté le 30 août 2018]. <http://insitu.revues.org/9788>.
- Support technique Office, *Site de Microsoft* [En ligne] 2015 [consulté le 20 août 2017]. <https://support.office.com/fr-ch/>
- Variance et écart-type *Site de Statistique Canade* [En ligne] 2013 [consulté le 30 août 2018]. <https://www.statcan.gc.ca/edu/power-pouvoir/ch12/5214891-fra.htm#a1>