

MASTER : Traitement de l'Information et Exploitation des Données

Fouad Badran, Cécile Mallet, Carlos Mejia,  
Charles Sorrow, Sylvie Thiria

*Master TRIED,*

*TPA05 : Rapport*

*Sujet :*

*ACP appliquée à des températures  
locales et effet de serre*

*Réalisé par :*

*Exemple de Rapport*

*Année universitaire : ----/----*

## Résumé de l'énoncé :

### Objectifs :

Le travail proposé cherche à présenter l'utilisation de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) (voir encadré) dans une perspective d'application en géophysique. Dans ce TP, l'ACP sera mise en œuvre pour l'analyse de données de température, et dans une moindre mesure, de concentration en CO<sub>2</sub>, éléments qui interviennent dans les études menées pour la compréhension de l'effet de serre.

Les données dont nous disposons étant réparties spatialement (sur différentes villes) et temporellement (moyennes mensuelles de 1982 à 2010) nous réaliserons 2 études en intervertissant le rôle de ces 2 dimensions :

**1<sup>ère</sup> partie**) : Les villes seront utilisées comme variables (on parlera de « variables-villes »), et les moyennes mensuelles comme individus (on parlera d' « individus-mois »).

**2<sup>ème</sup> partie**) : On inverse le rôle des dimensions, il s'agit simplement d'une transposition des données. On aura donc des « variables-mois » et des « individus-villes »

*Note à l'attention des étudiants : Les commentaires encadrés représentent des connaissances supplémentaires sur le sujet. Ils ne découlent pas de l'énoncé et ne sont donc pas attendus dans un rapport rédigé par un non spécialiste du sujet.*

#### **ACP : présentation**

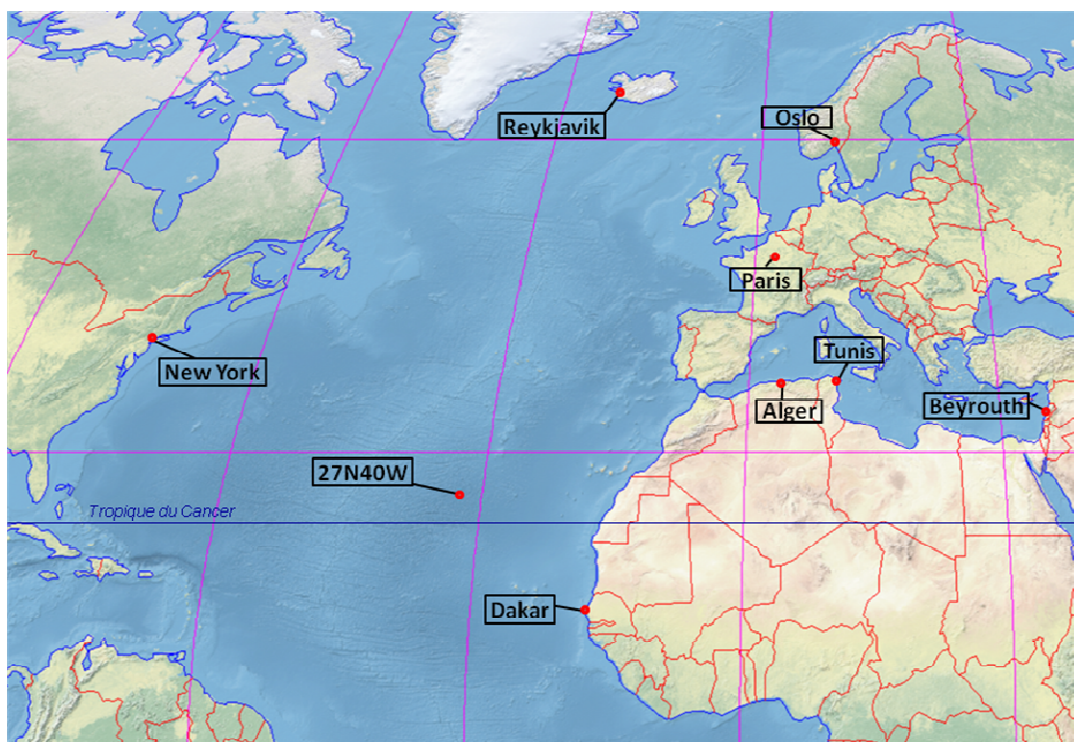
*La représentation de données devient délicate lorsque leur dimension est supérieure à 2 ou 3. Il faut recourir à des méthodes plus avancées comme (par exemple) l'Analyse en Composantes Principales (ACP). L'ACP consiste à opérer un changement de base de façon à maximiser l'inertie de l'ensemble des données étudiées en projection sur les premiers facteurs de la nouvelle base. On cherche ainsi à ce que quelques uns seulement de ces nouveaux facteurs, qui donnent naissance à de nouvelles variables appelées composantes principales, soient suffisants à la compréhension et à l'interprétation des données. L'information est ainsi réduite mais l'interprétation est rendue délicate puisque les coordonnées des nouvelles variables sur les nouveaux facteurs, dits principaux, sont des combinaisons linéaires des axes initiaux. Nous vous renvoyons au document joint « ACPrappels » pour une présentation succincte plus formelle de l'ACP.*

## Les Données :

Les données de température utilisées (variable **t2** à 2mètre du sol en degré Celsius (C°) sont issues de la base ERA-Interim du centre européen ECMWF. On dispose de données pour 8 villes et un point au milieu de l'Atlantique. Il s'agit des villes suivantes (du nord au sud) : Reykjavik, Oslo, Paris, New York, Tunis, Alger, Beyrouth et Dakar. La coordonnée du point de l'Atlantique est 27°N,40°O. Elle vient s'intercaler entre Beyrouth et Dakar, nous l'appellerons « Atlan » par la suite.

Les valeurs de concentration en CO<sub>2</sub> (variable **CO<sub>2</sub>** : molfrac ppm (parties par million)) proviennent de la NOAA et correspondent à des mesures réalisées sur le mont Mauna Loa à Hawaii.

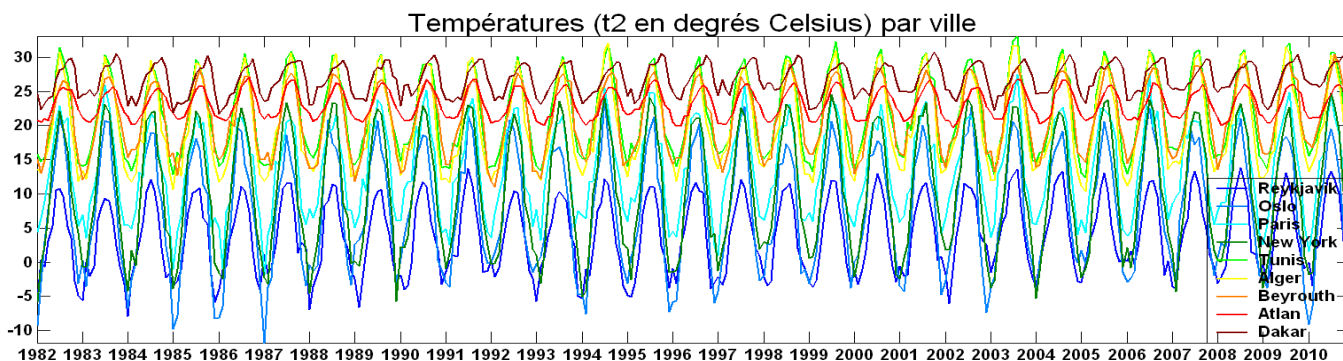
Pour ces 2 variables (**t2** et **CO<sub>2</sub>**) Nous avons extrait les données journalières de janvier 1982 à décembre 2010 soit 29 années entières, à partir desquelles nous avons réalisé des moyennes mensuelles. C'est à partir de ces moyennes que nous avons réalisé le travail présenté.



## 1ère Partie : ACP des températures : (« individus-mois » « variables-villes »)

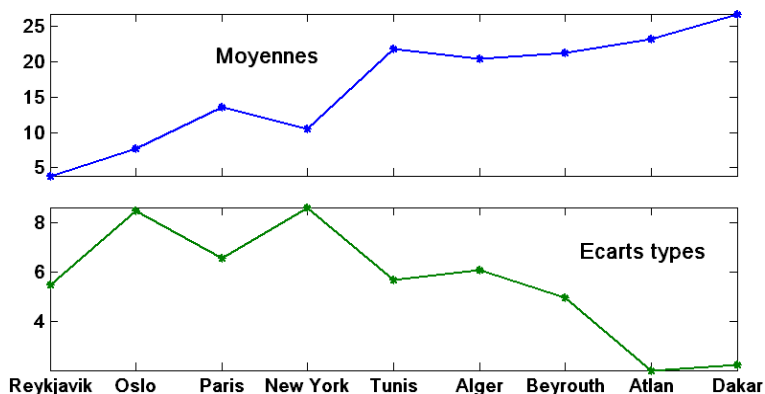
### 1°) Représentation des données de température

Les courbes des données de température par ville que nous devons étudier sont représentées par la figure ci-dessous. A la seule visualisation de cette image, deux remarques peuvent être effectuées pour le moins :



- Les villes du nord ont des températures plus basses que celles des villes du sud dont les températures sont plus élevées.
- L'amplitude des températures apparaît aussi dépendante de la latitude (importante au nord, et plus réduite au sud)

Pour compléter ce tout premier contact avec les données, nous avons tracé, dans la figure suivante, les courbes des valeurs moyennes par ville ainsi que leurs écarts types.



La 1ère courbe de moyennes confirme numériquement, s'il en était besoin l'augmentation des températures du nord vers le sud. La 2ème courbe montre, quant à elle, d'abord une alternance puis une décroissance des écarts types.

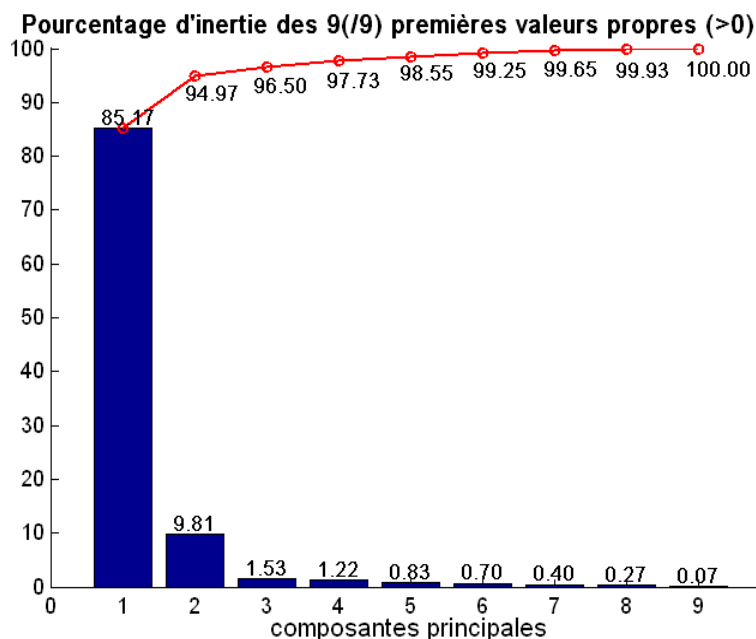
### 2°) Analyse en Composantes Principales (Points « individus-mois » « variables-villes »)

Nous avons tout d'abord entrepris de faire une ACP pour étudier l'évolution des températures moyennes mensuelles (variable t2) en fonction des villes. Notre tableau de données est alors constitué, en colonnes par les « variables-villes », et en ligne par les « individus-mois ». Il est donc de dimension 348x9. Les valeurs utilisées étant des moyennes mensuelles il s'agit donc d'une étude saisonnière et

non pas interannuelle. Dans cette étude, on veut attribuer la même importance à chaque ville et ne comparer que l'évolution de la température entre ces villes. Pour cette raison, l'ACP sera réalisée avec les données normalisées par centrage et réduction.

## 2.1°) Inertie

La 1<sup>ère</sup> figure ci-dessous rend compte de l'inertie portée par chaque axe principal de l'ACP. Chacune des barres de l'histogramme présenté est surmontées du pourcentage d'inertie de la composante correspondante (valeur en ordonnée). La courbe rouge correspond à la valeur en cumulée de ces pourcentages.

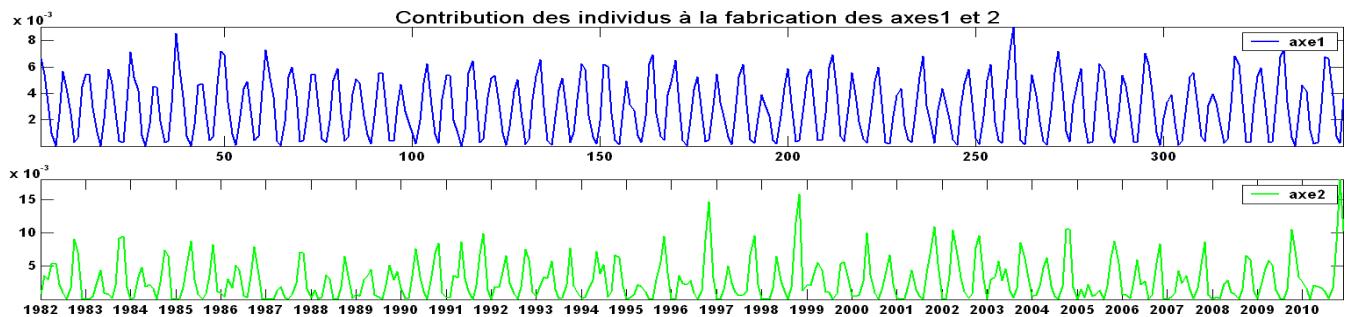


Constatant que les 2 premiers axes cumulent près de 95% de l'inertie, nous n'utiliserons que le plan principal constitué par ces 2 axes, celui-ci est très représentatif des données. Par la suite, pour les figures concernées (cercle des corrélations et nuages des individus), Le 1<sup>er</sup> axe sera mis en abscisse, le second en ordonnées.

## 2.2°) Contribution des individus à la formation des axes<sup>1</sup>

Pour les 2 axes retenus, nous avons voulu vérifier, qu'il n'y avait pas d'individus particuliers qui auraient participé plus fortement que d'autres à leur fabrication. Nous avons donc représenté ci-dessous une figure qui indique, pour chaque individu, le pourcentage de contribution pour chacun des deux axes.

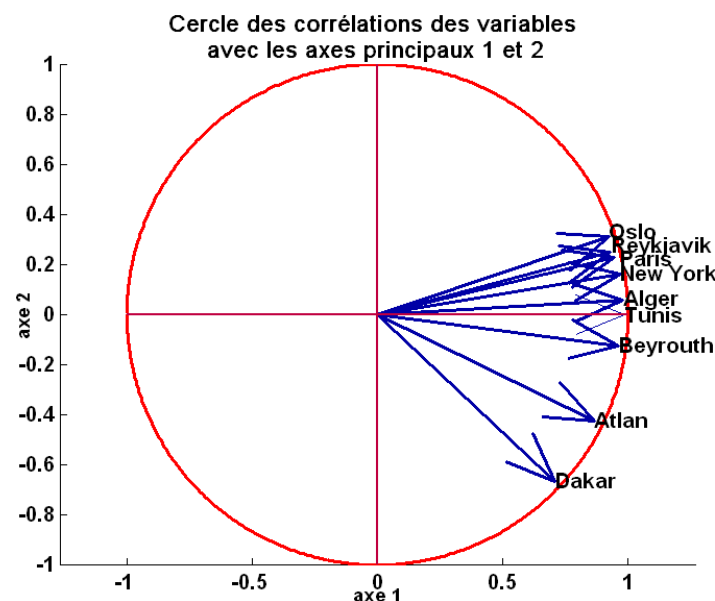
<sup>1</sup> La contribution d'un individu  $\mathbf{o}_i$  à la formation d'un axe  $k$  es donnée par :  $ctr_k(\mathbf{o}_i) = q_i c_{ik}^2 / \lambda_k$ , c'est la part de la variance de  $c_k$  due à l'individu  $\mathbf{o}_i$ .



Visuellement, on ne constate pas que certains individus auraient une contribution si importante par rapport à celles des autres individus, qu'elle justifierait leurs exclusions.

Si on examine la figure attentivement on remarque que les cycles des contributions des 2 axes sont en opposition, les extrêmes se produisant pour chaque axe tous les six mois. Les plus fortes contributions à l'axe 1 se situent sur les saisons d'hiver et d'été. Pour l'axe 2, ce sont sur les saisons intermédiaires de printemps et d'automne que se concentrent les contributions les plus élevées. L'axe 1 et l'axe 2 sont donc caractérisés par des périodes différentes, ce qui devrait apparaître dans les interprétations que nous ferons de l'ACP.

### 2.3°) Cercle des corrélations (pour les « variables-villes »)



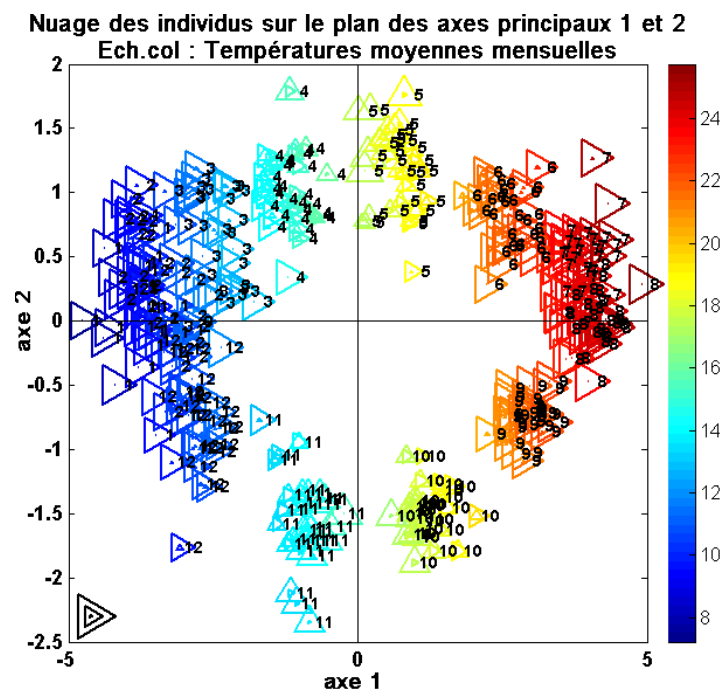
On représente ici pour chaque ville sa corrélation avec les composantes principales 1 et 2. Le Cercle des Corrélation (CC) fait apparaître un effet taille sur le 1<sup>er</sup> axe qui indique que presque toutes les villes sont très corrélées avec cet axe. Etant donné que les variables étudiées sont ici les températures par ville, cela indique qu'elles varient de la même manière : lorsque la température augmente dans l'une des villes, elle augmente aussi dans les autres (et inversement).

L'interprétation du second axe est moins confortable. On voit que ce sont les villes de Dakar et d'Atlan qui ont un comportement un peu différent et qui impacte plus ce deuxième axe. Celui-ci semble opérer, à priori, une répartition des régions selon la température moyenne annuelle en allant du nord vers le sud sans que la raison apparaisse explicitement (pour le moment). On verra dans la suite de l'étude que la température n'est pas la bonne interprétation de cet axe, ceci est visible si l'on regarde en même temps le nuage des individus qui suit.

## 2.4°) Nuages des « individus-mois »

Sur la figure du nuage des individus ci-dessous, chaque point est représenté par deux triangles. Les triangles orientés vers la droite se rapportent à l'axe des abscisses et ceux dirigés vers le haut à l'axe des ordonnées. Ces triangles sont porteurs de deux informations :

- La taille du triangle : elle est proportionnelle à la qualité de représentation<sup>2</sup> (Pour avoir un point de repère, nous avons tracé en bas à gauche de la figure, 3 triangles noirs ayant respectivement des qualités de représentation, du plus grand au plus petit, égales à 1, 0.5 et 0.1)
- La couleur du triangle correspond à la température moyenne dont les valeurs sont indiquées par la barre de couleur.



Nous avons également mentionné le mois de chaque point individu, qui malheureusement n'est pas toujours visible. Ceci étant, on voit tout de même que les mois plus froids d'hiver (12, 1, 2, 3) se situent à gauche de l'axe 1 ; les mois chauds d'été (7, 8, 9) sont en opposition à la droite de cet axe. Les saisons intermédiaires (printemps, automne) étant plus centrées sur cet axe 1. On retrouve là, la corrélation de la température à l'axe 1 que nous avons indiqué à propos du cercle des corrélations. On obtient toutefois, une indication supplémentaire sur l'orientation des valeurs sur cet axe qui vont du froid à gauche au chaud à droite.

L'axe 2 quant à lui nous apporte une information supplémentaire en nous montrant une opposition entre les mois de printemps (4, 5 et 6) et ceux de l'automne (9, 10, 11). Ces deux saisons ayant des niveaux de température similaires, cette information ne nous permet pas encore de conclure sur la signification de cet axe.

Les remarques établies en s'appuyant sur l'échelle de couleur des températures moyennes sont en accord avec les qualités de représentation. En effet, les triangles orientés à droite montrent une bonne

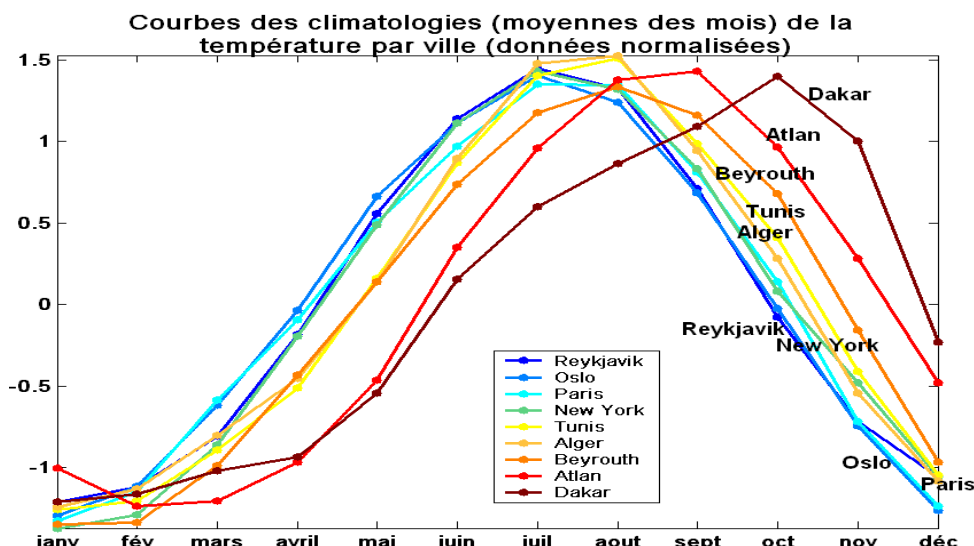
<sup>2</sup> La qualité de représentation d'un individu  $\mathbf{o}_i$  par un axe  $k$  est donnée par :  $qlt_k(\mathbf{o}_i) = c_{ik}^2 / \|\mathbf{o}_i\|^2$ , avec  $\|\mathbf{o}_i\|^2 = \sum_{k=1,p} x_{ik}^2 = \sum_{k=1,p} c_{ik}^2$ . Elle permet de savoir si un individu est ou n'est pas bien représenté par un axe.



représentation de l'axe 1 pour les périodes froides d'hiver et chaude d'été alors que l'axe 2 est plus représentatif des périodes intermédiaires de l'automne et du printemps.

## 2.5°) Courbes des climatologies mensuelles par villes

La figure ci-dessous nous permet de mieux comprendre la signification du deuxième axe. Il s'agit d'une climatologie (moyenne des mois sur les 29 années) par ville de leur température en valeur centrée-réduite.



En prenant Alger et Tunis comme point de repère moyen (puisque'elles se situent au niveau 0 de l'axe 2 du CC), les villes en dessous de ce niveau sur le cercle (Atlan et Dakar) atteignent leur maximum de température plus tard dans l'année (vers le mois de septembre pour Atlan et octobre pour Dakar). Pour les villes situées du côté positif de l'axe 2, comme Oslo et Reykjavik, on voit que le maximum se produit un peu plus tôt dans l'année, vers le mois de juillet.

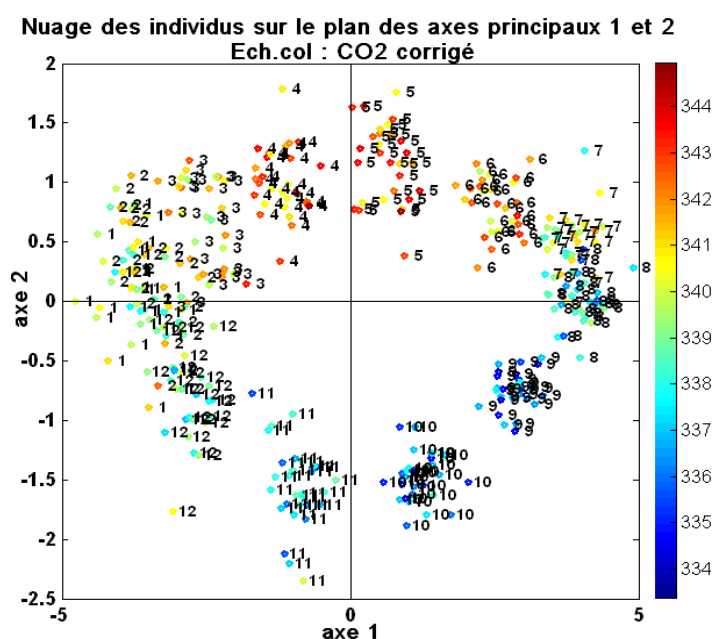
Une autre approche (mais qui est en faite équivalente) est de remarquer le décalage des cycles saisonniers, annuels de certaines villes par rapport à d'autres. Pour le groupe des villes du nord (Reykjavik, Oslo, Paris, New York), en bleu et vert, la croissance des températures commence plus tôt dans l'année que pour le groupes des villes géographiquement « intermédiaire » (Tunis, Alger, Beyrouth), en jaune et orangé. Puis ce sont ensuite les villes du sud (Atlan, Dakar) en rouge et marron, qui ferment la marche. Ainsi, si l'on regarde la partie gauche du graphique, en particulier dans sa partie qui correspond aux mois du printemps (avril, mai, juin), on voit bien ce décalage des 3 groupes de courbes en remarquant que, **en données normalisées**, les villes du nord ont des valeurs plus élevées, que les villes intermédiaires (Alger, Tunis), viennent ensuite les ville du sud (Dakar, Atlan) qui ont les valeurs les plus faibles. Dans la partie droite du graphique, pour la période de septembre à octobre, la situation s'inverse : les villes du nord ont des valeurs plus faibles que celles du sud. C'est donc de cette opposition de configuration, du au décalage des cycles saisonniers du nord au sud (de l'hémisphère nord), que rend compte le 2ème axe, qui se trouve donc correspondre en même temps à des niveaux de température différents.



## 2.6°) Échelle de couleur CO2 corrigé non décalé

Pour cette partie, il est bon de revoir les résultats du TP précédent sur l'étude bi dimensionnelle de l'effet de serre.

L'intérêt de l'étude du CO<sub>2</sub> n'étant plus à démontrer, nous avons reproduit le nuage des individus en utilisant, cette fois, une échelle de couleur graduée par la concentration en parties par million (ppm) de ce gaz. Sachant que la tendance globale des températures est cachée par leurs variabilités saisonnières, ce qui n'est pas le cas du CO<sub>2</sub>, nous avons corrigé ce dernier de sa tendance globale avec la formule :  $CO_{2cor} = CO_2 - b1 * tclim$  (où  $b1$  est la pente de la droite de régression, et  $tclim$  dénote les pas de temps des données). On a de cette manière neutralisé l'effet interannuel de l'augmentation de CO<sub>2</sub> pour ne conserver que sa variation saisonnière.



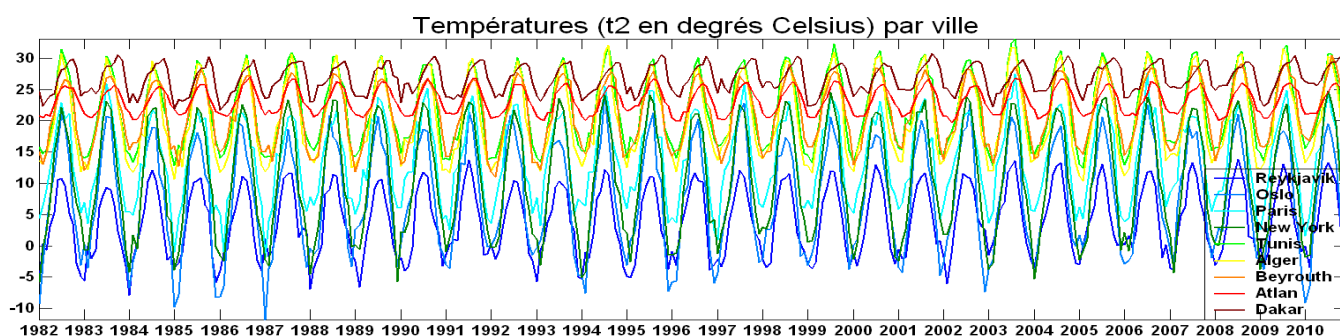
Une comparaison avec le nuage précédent des individus nous montre que la température et le CO<sub>2</sub> ne suivent pas le même cycle. En effet les températures sont en moyennes à leur maximum aux mois de juillet et d'août après que le CO<sub>2</sub> ait atteint le sien vers le mois de mai. De même, le minimum de concentration de CO<sub>2</sub> se situe aux mois de septembre octobre, celui des températures étant calé sur décembre et janvier. On peut donc estimer, visuellement que le décalage des cycles de ces 2 variables est de l'ordre de 3 mois environs. Ce décalage s'explique en partie par le fait, que l'augmentation des températures, à partir du printemps, va permettre à la végétation de se développer en consommant du CO<sub>2</sub> (voir encadré ci-dessous).

*Dans l'hémisphère nord, au début du printemps (~mars/avril) la végétation se développe en consommant du CO<sub>2</sub> sous l'effet de l'augmentation des températures et de l'ensoleillement. Cela arrête (avec un certain temps de réaction) la progression de la concentration de CO<sub>2</sub> qui va alors se mettre à décroître par activité chlorophyllienne. Cette décroissance va se poursuivre jusqu'à ce que la végétation, recevant moins de chaleur et de soleil se remette au repos (~sept-oct). Le cycle annuel peut alors recommencer. On a donc un cycle saisonnier du CO<sub>2</sub> qui est lié à celui de la température avec un certain décalage. En résumé l'accroissement de la température entraine celui de la végétation ce qui à son tour entraine diminution de la concentration de CO<sub>2</sub>. A cet effet vient s'ajouter la captation du CO<sub>2</sub> par l'océan. Plus la température de l'océan est élevée, plus la captation du CO<sub>2</sub> diminue. Or la température de surface de l'océan est maximum à la fin de l'été.*

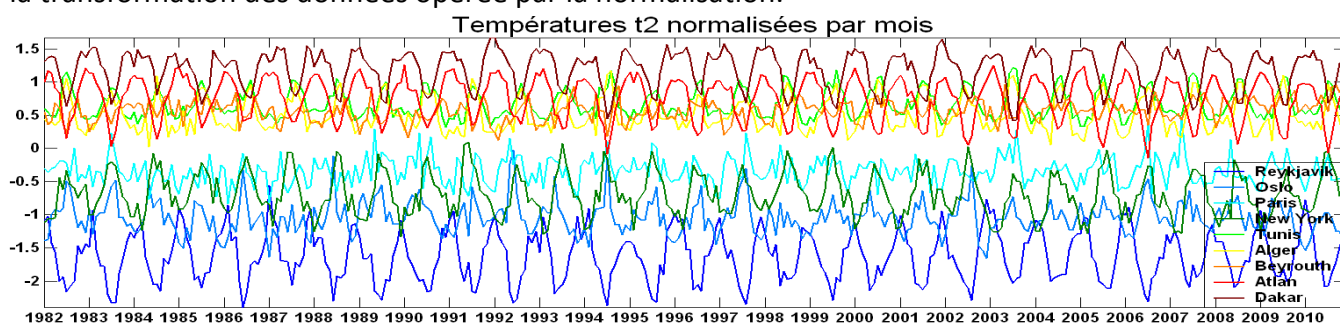
## 2ème Partie : ACP des températures : (« individus-villes » « variables-mois »)

### 1°) Représentation des données

Nous poursuivons notre étude en entreprenant une étude comparative des villes. Pour cela, nous allons considérer les séries chronologiques de leurs températures (moyennes mensuelles) sur les 29 mêmes années. Sur le plan pratique, cela revient à transposer le tableau des données initiales. On va donc se retrouver avec **348 « variable-mois »** pour seulement **9 « individus-villes »**. Les données sont représentées par les deux figures ci-dessous. La première correspond aux données brutes, la seconde aux données normalisées par centrage et réduction. On comprend donc que cette normalisation est faite pour chaque mois de sorte que tous les mois sont ramenés dans un ordre de grandeur comparable. En effet, en normalisant, on retire la moyenne de chaque mois calculée sur les 9 villes, on travaille donc sur des anomalies de température relative à chaque mois. L'ACP étant réalisée sur ces données ainsi normalisées, l'étude porte donc sur une comparaison des 9 villes. L'évolution interannuelle est ici très fortement atténuée par l'opération de normalisation.



Cette 1<sup>ère</sup> figure a déjà été présentée ; elle a fait l'objet d'un commentaire au début de la 1<sup>ère</sup> partie auquel nous vous renvoyons. Elle nous permet ici d'apprécier, par comparaison avec la figure qui suit, la transformation des données opérée par la normalisation.



Sur cette seconde figure des données normalisées, on peut remarquer que quelque soit la ville, les séries chronologiques ne présentent pas de tendance globale sur la période. Comme on l'a dit en effet, la normalisation a eu pour résultat de l'amoindrir. On peut le vérifier en calculant les pentes de régression pour chaque ville. Sur les données brutes, la pente minimale est celle d'Atlan qui vaut 0.00698, la pente maximale est pour Beyrouth avec 0.007243. Sur les données normalisées, on obtient en valeur absolue une pente minimale de 0.00047 pour Alger et de 0.000423 pour Beyrouth. Concernant le cycle annuel saisonnier, on peut voir par contre que celui-ci reste tout à fait préservé.

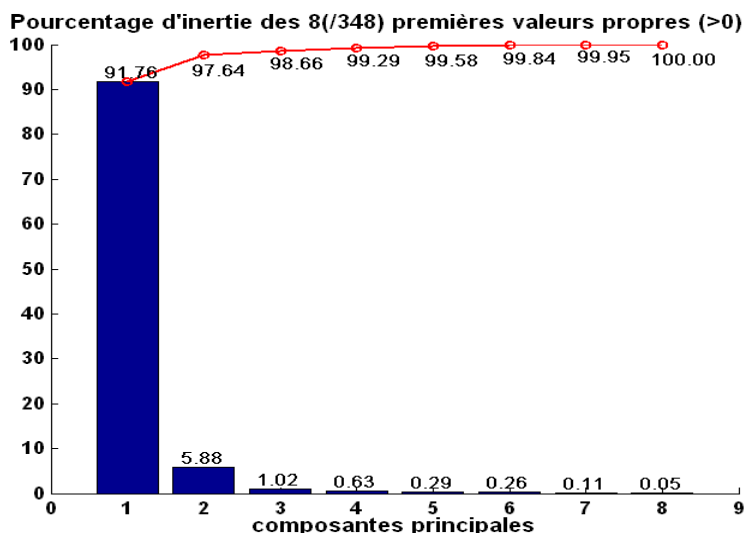
Cette figure fait très bien ressortir une frontière selon une droite horizontale d'ordonnée 0 qui sépare clairement les villes en deux groupes, celles du nord d'un côté (Reykjavik, Oslo, Paris et New York) de

celle du sud de l'autre (Dakar, Atlan, Beyrouth, Alger, Tunis). Cette droite correspond, par définition, à la valeur moyenne des données normalisées. Elle sépare les villes froides de la première liste des villes chaudes de la seconde. Les villes continuent de se ranger ainsi du plus froid au plus chaud.

## 2°) Analyse en Composantes Principales (Points « individus-villes » « variables-mois »)

### 2.1°) Inertie

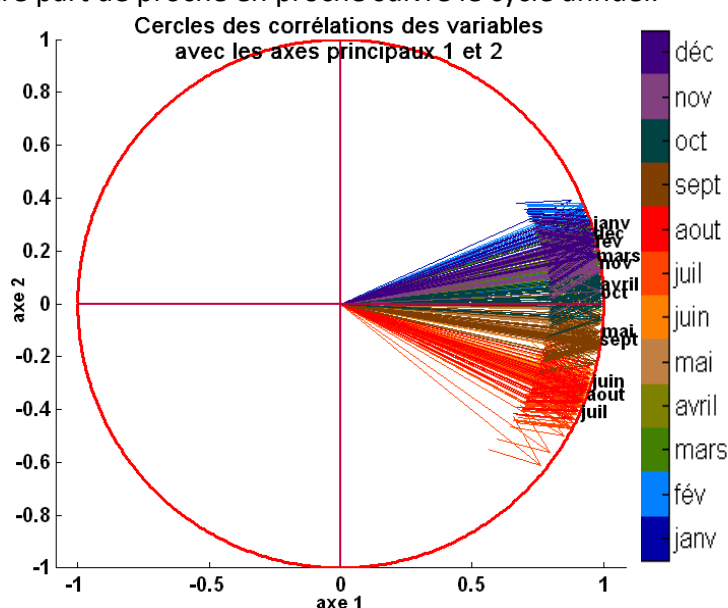
Sur les 348 composantes principales, seules les 8 premières, dont les pourcentages d'inerties sont visualisés par la figure ci-dessous, ont une valeur propre positive.



Ces résultats nous montrent que le premier axe représente à lui tout seul près de 92% de l'inertie. Il nous laisse penser que les données sont quasi représentables dans un espace à une seule dimension et que cette 1<sup>ère</sup> composante est suffisante à elle seule pour établir notre étude. Nous verrons cependant que le 2<sup>ème</sup> axe avec près de 6% d'inertie est aussi porteur d'information.

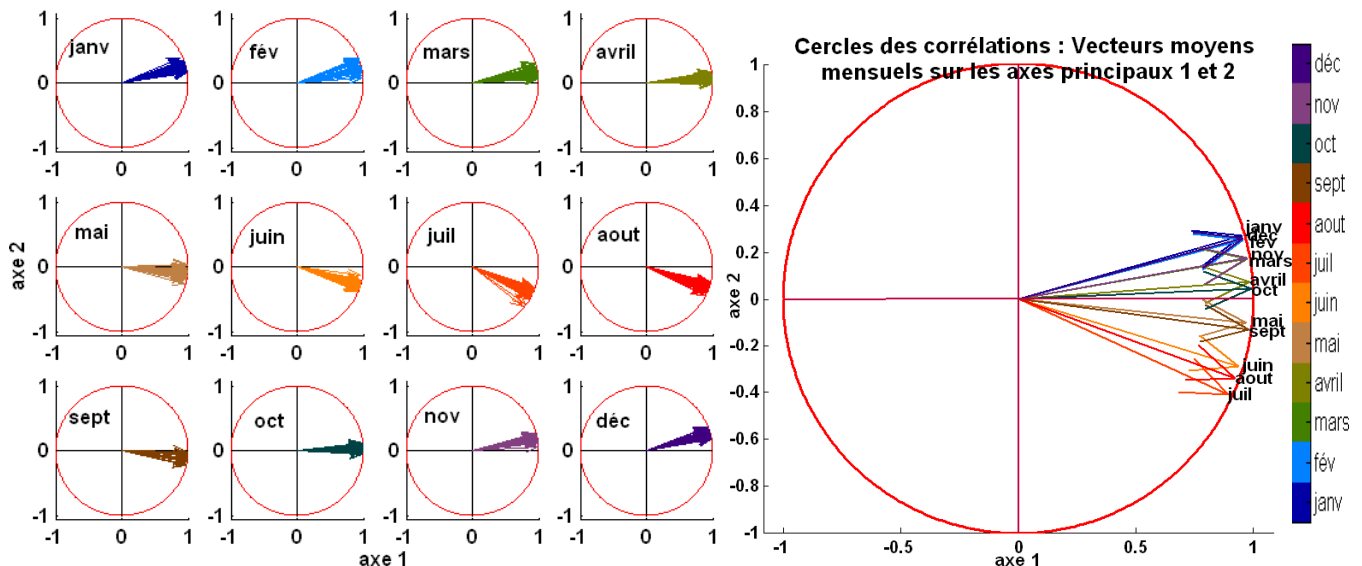
### 2.2°) Cercle des corrélations

Sur le cercle des corrélations ci-dessous, on voit que pour chaque mois, les différentes années sont voisines, on peut d'autre part de proche en proche suivre le cycle annuel.



Cette figure est cependant chargée (348 variables) et présente des zones de chevauchements. Si l'on projette chaque mois séparément (figure de gauche ci-dessous), on observe un très bon regroupement et ce pour tous les mois. La moyenne sera donc un très bon indicateur que l'on est fondé à utiliser et c'est elle que l'on a fait figurer sur la figure à droite.

La projection (en moyenne) des corrélations entre les variables-mois et les axes principaux apparaît alors beaucoup plus clairement.

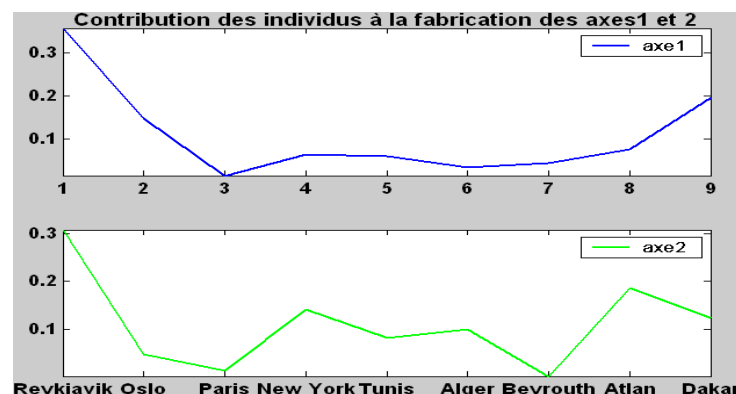


Le cercle de corrélation met en évidence un effet taille sur le 1<sup>er</sup> axe. Cela nous indique que les variables-mois ont des sens de variation similaires au cours du temps. Cela nous permet au passage d'attirer l'attention sur le fait que toutes les villes de l'étude sont situées dans l'hémisphère nord et qu'elles suivent donc l'évolution saisonnière de cet hémisphère.

Concernant l'axe 2 et son inertie moindre, on comprend tout de même, qu'il oppose les mois froids d'hiver, comme ceux de janvier et décembre, et qui se situent sur la partie positive de l'axe, au mois chauds de l'été (juin, juillet, août) qui ont leurs ordonnées sur la partie négative de l'axe.

### **2.3°) Contribution des individus à la formation des axes**

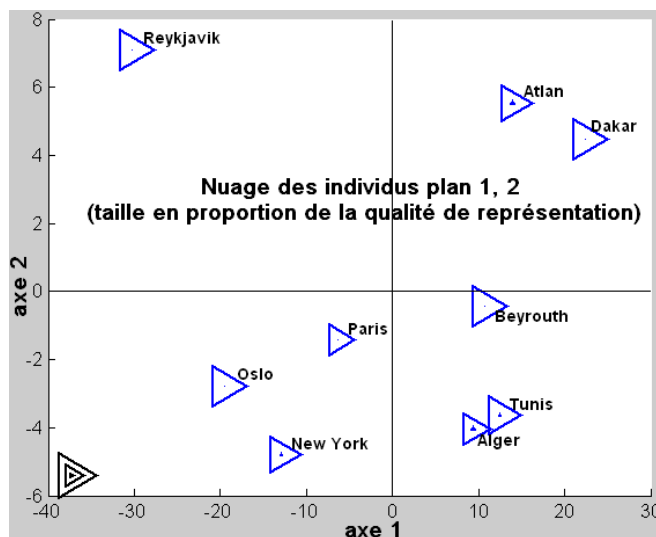
Les contributions aux deux premier axes que nous représentons ci-après à la fois sous forme graphique et chiffrées montre une influence plus marquée pour Reykjavik sans pour autant que cela puisse en justifier sa mise à l'écart.



Contribution (CTR) en clair pour les 2 premières composantes principales (C1 et C2) :

	'Reykjavik'	'Oslo'	'Paris'	'New York'	'Tunis'	'Alger'	'Beyrouth'	'Atlan'	'Dakar'
CTR(C1) :	0.3577	0.1485	0.0159	0.0650	0.0615	0.0345	0.0445	0.0766	0.1959
CTR(C2) :	0.3081	0.0478	0.0120	0.1410	0.0807	0.1000	0.0011	0.1871	0.1222

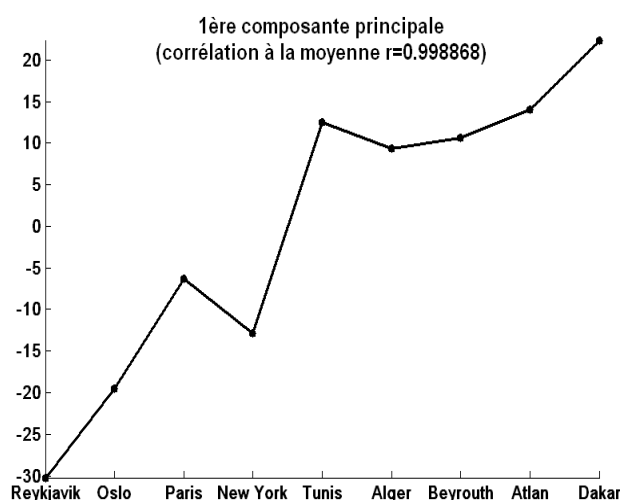
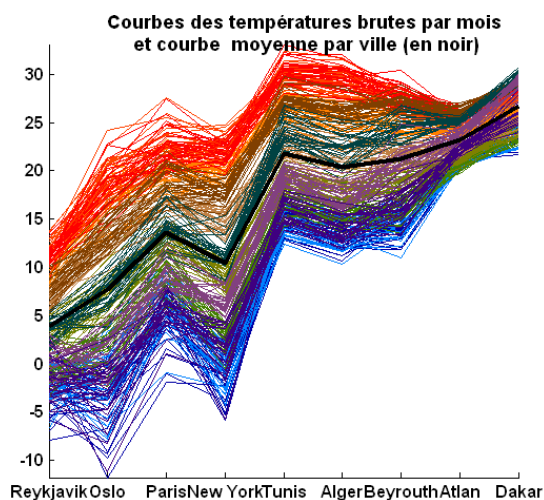
## 2.4°) Nuages des « individus-villes »



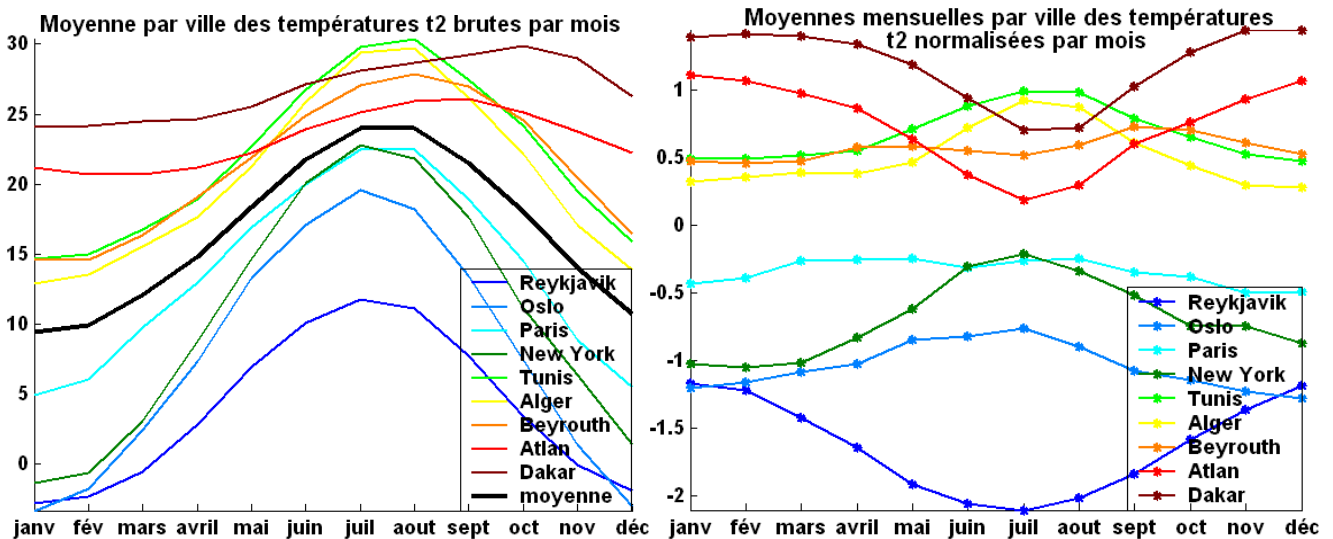
Qualité de représentation (QLT) en clair pour les 2 premières composantes principales (C1 et C2) :

	'Reykjavik'	'Oslo'	'Paris'	'New York'	'Tunis'	'Alger'	'Beyrouth'	'Atlan'	'Dakar'
QLT(C1) :	0.9430	0.9489	0.7299	0.8302	0.9031	0.7947	0.9340	0.8550	0.9545
QLT(C2) :	0.0521	0.0196	0.0354	0.1155	0.0759	0.1475	0.0015	0.1339	0.0382

**Axe1** : Lorsque l'on regarde maintenant le nuage des individus-villes, on observe que l'axe 1 fait état d'une meilleure qualité de représentation puisque les triangles de plus grandes tailles sont orientés selon cet axe. Cela n'est d'ailleurs pas étonnant si on se rappelle que ce 1<sup>er</sup> axe captait presque 92% de l'inertie. On note ainsi, que toutes les villes ont une bonne qualité de représentation. On comprend aisément que cet axe correspond à un axe géographique qui court des villes les plus froides du nord à celles plus chaudes du sud. En fait si on compare la moyenne des villes (courbe noire sur la figure de gauche ci-dessous), avec la 1<sup>ère</sup> composante principale (figure de droite), on voit que la forme de la courbe des premières est tout à fait reproduite par celles des deuxièmes et qu'elles sont très fortement corrélées linéairement ( $r \sim 1$ ). Le 1<sup>er</sup> axe est donc une bonne représentation de la température du plus froid à gauche au plus chaud à droite.



**Axe2 :** L'axe 2 est plus délicat à interpréter. On se rappelle qu'il ne représente pas plus de 6% de l'inertie, de plus les qualités de représentation selon cet axe sont petites. Pour nous aider dans l'interprétation de ce 2<sup>ème</sup> axe, nous allons nous appuyer sur la climatologie mensuelle des données brutes, figure de gauche ci-dessous, et des données normalisées figure de droite ci-dessous. On se rappellera qu'une donnée centrée réduite correspond au rapport entre l'anomalie et l'écart type (nous appelons anomalie la différence d'une variable à la moyenne de cette variable ( $x_i - \bar{x}$ )). On est donc conduit ici à comparer pour chaque ville la manière dont évolue ce rapport dans le temps.



La figure de gauche, nous permet de voir de façon plus synthétique l'évolution saisonnière des températures brutes de chacune des villes et leur positionnement par rapport à une ville moyenne représentée par la courbe noire. On remarque, d'une part, que toutes les villes n'ont pas des variations de même amplitude. D'autre part, la variance des températures dans le temps est plus importante en hiver et que celle-ci elle se contracte en été.

Sur la figure de droite, trois types de courbes peuvent être assez facilement distingués, elles expliquent le positionnement des villes sur le nuage des individus :

- Des courbes convexes pour Reykjavik, Atlan et Dakar qui décroissent de janvier à juillet puis remontent. Ces villes se positionnent du côté positif de l'axe 2.
- Des courbes concaves pour Oslo, New York, Tunis et Alger qui inversement grimpent de janvier à juillet puis redescendent. Ces villes sont situées sur la partie négative de l'axe 2.
- Les courbes d'Alger et de Paris qui ont peu d'amplitude et traduisent une certaine stabilité. Elles correspondent donc à un positionnement moyen en étant près de l'origine de l'axe 2.

Les courbes de cette figure sont en adéquation avec le cercle des corrélations puisque qu'elles nous permettent en effet de compléter l'interprétation du positionnement des variables sur l'axe 2 du cercle : pour Reykjavik, Atlan et Dakar, les valeurs maximums du rapport de l'anomalie à l'écart type (c.f. figure de droite) sont atteintes en hivers (novembre, décembre, janvier, février sur la partie supérieure de l'axe 2), par opposition, Oslo, New York, Tunis et Alger, obtiennent leurs maximums en été (juin, juillet, août sur la partie inférieure de l'axe 2). S'agissant de Paris et Beyrouth, les valeurs sont plutôt étales tout au long de l'année ce que l'on avait déjà constaté.

Concernant les courbes convexes de Reykjavik d'une part et Atlan et Dakar de l'autre, une remarque

doit cependant être mentionnée. Celle de Reykjavik se creuse (de janvier à juillet) parce que le rapport de son anomalie qui est négative à l'écart type augmente (en valeur absolue). Pour Atlan et Dakar les courbes se creusent aussi mais cette fois c'est parce que les anomalies des ces villes sont positives et que leur rapport à l'écart type diminue.