

DIAGRAMMES  
PSYCHROMETRIQUES  
INTERACTIFS

MANUEL  
D'UTILISATION

VERSION V 1.4

© R. GICQUEL DECEMBRE 2009

# SOMMAIRE

<b>MANUEL D'UTILISATION DES DIAGRAMMES PSYCHROMETRIQUES .....</b>	<b>3</b>
GENERALITES .....	3
INTERNATIONALISATION, FORMATAGE DES NOMBRES .....	4
UTILISATION DU DIAGRAMME, AFFICHAGE ET RECALCUL D'UN POINT .....	4
<i>Utilisation des flèches du clavier.....</i>	<i>4</i>
<i>Création d'un point.....</i>	<i>4</i>
PARAMETRAGE DE L'ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL .....	6
<i>Sélection du gaz.....</i>	<i>6</i>
<i>Définition d'un nouveau gaz composé .....</i>	<i>7</i>
<i>Sélection du type de diagramme .....</i>	<i>8</i>
<i>Sélection de l'épaisseur du tracé .....</i>	<i>8</i>
<i>Modification des couleurs des traits et du fond d'écran.....</i>	<i>8</i>
<i>Modification de la disposition des axes.....</i>	<i>9</i>
<i>Autres paramètres du diagramme .....</i>	<i>9</i>
OPERATIONS SUR LES CYCLES .....	9
<i>Création de points à partir de l'éditeur de cycle .....</i>	<i>10</i>
<i>Affichage des points reliés.....</i>	<i>10</i>
<i>Gestionnaire de cycle .....</i>	<i>11</i>
<i>Changement de la couleur du cycle.....</i>	<i>11</i>
<i>Superposition de plusieurs cycles sur un diagramme.....</i>	<i>11</i>
<i>Effacement d'un cycle .....</i>	<i>12</i>
<i>Enregistrement d'un cycle .....</i>	<i>12</i>
<i>Chargement d'un cycle .....</i>	<i>12</i>
EDITEUR DE GAZ COMPOSES .....	13
<i>Chargement d'un gaz de la base.....</i>	<i>13</i>
<i>Affichage de la composition du gaz.....</i>	<i>13</i>
<i>Création d'un nouveau gaz.....</i>	<i>13</i>
<i>Edition d'un gaz, fonctions de l'éditeur de gaz.....</i>	<i>14</i>
<i>Importation d'un gaz.....</i>	<i>15</i>
IMPRESSION D'UN DIAGRAMME, FIN DE SESSION .....	15
<i>Impression d'un diagramme .....</i>	<i>15</i>
<i>Fin de session .....</i>	<i>15</i>
CHOIX DES ISOVALEURS POUR LES DIAGRAMMES PSYCHROMETRIQUES .....	15
<i>Choix des isovaleurs.....</i>	<i>16</i>
<i>Constitution d'une bibliothèque de fichiers d'isovaleurs .....</i>	<i>17</i>
<i>Non-convergence des algorithmes d'inversion.....</i>	<i>17</i>
AFFICHAGE DES COURBES D'ISOVALEURS.....	17

© R. GICQUEL 1998 - 2009. Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans autorisation est illicite, et constitue une contrefaçon sanctionnée par le Code de la propriété intellectuelle.

Avertissement : les informations contenues dans ce document peuvent faire l'objet de modifications sans préavis, et n'ont en aucune manière un caractère contractuel.

# Manuel d'utilisation des diagrammes psychrométriques

## Généralités

La famille THERMOPTIM ® ([www.thermoptim.com](http://www.thermoptim.com)) constitue un ensemble d'aides logicielles pour l'apprentissage et l'approfondissement de la thermodynamique appliquée, comprenant d'une part des diagrammes interactifs des propriétés des fluides : gaz idéaux, vapeurs condensables, mélanges d'un gaz idéal quelconque et de vapeur d'eau (psychrométriques), et d'autre part un progiciel de modélisation des technologies énergétiques composé de quatre environnements de travail complémentaires interconnectés : un éditeur de schémas (ou écran synoptique), un simulateur, des diagrammes thermodynamiques interactifs, et une méthode d'optimisation..

Les diagrammes interactifs sont destinés à remplacer les diagrammes thermodynamiques classiques sous forme d'abaques sur papier, dont la lecture est toujours délicate, avec des risques d'erreur par interpolation non négligeables. Ils permettent, par simple clic souris, d'afficher l'état thermodynamique complet d'un fluide. Un éditeur convivial permet de créer des points, de les calculer et de les enregistrer, ce qui conduit à des gains de productivité appréciables pour les utilisateurs.

Le progiciel THERMOPTIM permet de calculer facilement des cycles thermodynamiques relativement complexes sans être pour autant obligé ni de recourir à des simplifications outrancières, ni de se livrer à des calculs fastidieux.

Dans ce manuel, nous présenterons les diagrammes psychrométriques, en montrant successivement comment :

- utiliser le diagramme pour afficher un point et le recalculer
- paramétrer l'environnement de travail (sélection du gaz, paramétrage des calculs, choix de l'épaisseur et des couleurs de tracé, de la disposition des axes...)
- travailler avec des sélections de points (appelés des cycles), en les sauvant et les rechargeant
- éditer un gaz composé
- imprimer un graphe et quitter l'application
- sélectionner les valeurs des courbes affichées

## Propriétés thermodynamiques des corps

Le progiciel comprend l'ensemble des données thermophysiques nécessaires pour calculer l'état des fluides utilisés, qui peuvent être soit des corps purs, soit des mélanges de gaz.

Il met en oeuvre trois catégories de corps : des gaz idéaux purs, des gaz idéaux composés, et de l'eau traitée comme une vapeur condensable. Les gaz parfaits correspondent au cas particulier de gaz idéaux dont la capacité thermique massique est indépendante de la température (rappelons qu'un gaz idéal ou parfait a pour équation d'état  $Pv = rT$ ). Les calculs des gaz humides sont rapportés à l'unité de masse de gaz sec.

Le gaz peut être pur, auquel cas ses propriétés sont prédéfinies dans le progiciel, ou composé. Dans ce cas l'utilisateur doit définir la composition à partir des gaz purs disponibles dans la base de données, en indiquant, pour chacun d'entre eux, son nom et sa fraction molaire ou massique. Les propriétés du corps composé sont alors automatiquement déterminées à partir de celles de ses constituants. Deux catégories de gaz composés existent : les gaz protégés et les gaz non protégés. Cette distinction a été introduite pour éviter que certains gaz dont la composition est fixée, comme par exemple l'air, ne soient involontairement modifiés du fait d'une erreur de modélisation. Seuls les gaz non protégés peuvent voir leur composition modifiée et être enregistrés.

La précision des calculs est excellente pour les gaz idéaux (erreur sur la chaleur massique inférieure à 0,5 %), comme pour l'eau (des tests comparatifs effectués avec les Tables de la vapeur de l'ASME conduisent, pour des compressions et détentes, à des erreurs relatives sur les enthalpies mises en jeu inférieures à 0,02 % pour les zones vapeur et équilibre liquide-vapeur, et inférieures à 0,5 % pour les compressions à l'état liquide).

Des renseignements détaillés sur les équations utilisées peuvent être trouvées dans les ouvrages suivants :

GICQUEL R.,        Systèmes Énergétiques, Tomes 1 et 2, Presses de l'Ecole des Mines de Paris, février et novembre 2001, (<http://www.ensmp.fr/Presses/>).

## Internationalisation, formatage des nombres

Les diagrammes interactifs existent en plusieurs langues (anglais, français, espagnol, portugais, catalan). Ils se configurent dans celle qui correspond au fichier "inth.zip" placé dans le répertoire d'installation.

De la même manière, le formatage des nombres correspond automatiquement à la langue sélectionnée au niveau du système de la machine hôte. Par exemple, en anglais, le séparateur décimal est le point, et celui des milliers la virgule ; en français, le séparateur décimal est la virgule, et celui des milliers un espacement.

Si vous entrez un nombre mal formaté, il est tronqué au niveau du premier caractère non numérique rencontré.

## Utilisation du diagramme, affichage et recalcul d'un point

L'utilisation des diagrammes interactifs est très simple : positionnez le curseur en forme de croix au point dont vous désirez obtenir les grandeurs thermodynamiques, et cliquez pour qu'elles soient affichées à l'écran. Pour les diagrammes psychrométriques, ce sont : l'humidité absolue (rapport sans dimension de la masse d'eau par unité de masse de gaz sec), l'humidité relative (sans dimension), la pression partielle de la vapeur d'eau (Pa), la température sèche (°C), la température de rosée (°C), la température adiabatique (°C), l'enthalpie (kJ/kg) et le volume ( $\text{m}^3/\text{kg}$ ) spécifiques (rapportés à l'unité de masse de gaz sec).

Etant donné que la précision de positionnement du curseur dépend de la résolution de l'écran et n'est généralement pas très grande, il est possible d'effectuer des calculs plus précis soit en déplaçant une mire grâce aux flèches du clavier, soit en créant des points (dits points de cycle car un ensemble de plusieurs points représente souvent un cycle thermodynamique) et en les éditant.

### Utilisation des flèches du clavier

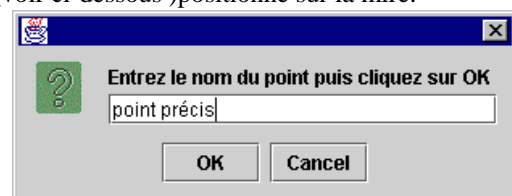
Il est possible d'affiner le positionnement du curseur en utilisant les flèches du clavier. Pour cela, cliquez à proximité du point dont vous désirez connaître l'état. Les valeurs s'affichent en bleu au dessus du diagramme. Si maintenant vous appuyez sur l'une des flèches du clavier, une mire rouge apparaît et se déplace dans l'une des quatre directions cardinales d'un incrément égal au millième de l'échelle horizontale ou verticale selon le cas. L'état du point est alors recalculé, et, de proche en proche, vous pouvez vous rapprocher du point recherché. En jouant sur l'échelle du diagramme comme indiqué au paragraphe "Modification de la disposition des axes", vous pouvez changer la sensibilité du déplacement.

Dès lors que la mire rouge apparaît, le clic souris est désactivé, et la mire ne peut être déplacée qu'à l'aide des flèches. Vous pouvez reprendre la main de deux manières :

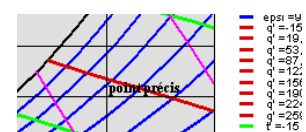
- soit en appuyant sur la touche "Echappement", ce qui fait disparaître la mire. Elle ne réapparaît que lorsque vous appuyez sur l'une des flèches, et se trouve à proximité de l'endroit où vous avez effectué votre dernier clic après sa disparition. Si vous n'avez pas cliqué depuis sa disparition, elle réapparaît à sa position précédente.
- soit en double-cliquant, ce qui a pour effet de créer un point (voir ci-dessous) positionné sur la mire.

### Création d'un point

Pour créer un point, double-cliquez à l'endroit désiré. Une fenêtre de dialogue est alors ouverte pour vous demander d'entrer un nom pour identifier le point.



Une fois le point nommé, il s'affiche à l'écran sous forme d'une petite croix et de son intitulé. Vous pouvez accéder à un éditeur permettant de modifier le point et de le recalculer. Pour cela, activez la ligne "Editer un cycle" du menu "Cycle" ou tapez Ctrl C :



L'écran de l'éditeur de cycle apparaît alors. Dans sa partie supérieure, il comprend des zones de texte qui permettent de documenter le cycle si vous le souhaitez, notamment en vue d'une sauvegarde. Le titre permet entre autres d'identifier le cycle dans le gestionnaire de cycles (voir plus loin). Si vous cherchez simplement à recalculer un point, cela n'est pas nécessaire. Dans la partie inférieure se trouve un tableau comprenant en colonnes le nom du point et les grandeurs thermodynamiques correspondantes, et en ligne chacun des points entrés (un seul pour le moment).

L'ensemble des possibilités offertes par l'éditeur de points de cycle sera présenté en détail un peu plus loin. A ce stade, nous nous contenterons de montrer comment l'utiliser pour recalculer un point.

Le tableau des points présente une particularité : vous pouvez changer l'ordre des colonnes en cliquant-déplaçant l'une d'entre elles au niveau de son intitulé. Si par exemple vous cliquez sur l'intitulé "température sèche" et que, en maintenant la souris enfoncée, vous la déplacez sur la droite, la colonne des humidités absolues glisse automatiquement à la seconde place.

Si vous poursuivez le mouvement sur la droite, la colonne des humidités relatives se déplace à son tour, et ainsi de suite. Après deux déplacements, vous obtenez par exemple le résultat suivant :

Editeur de points de cycle / fichier : /

Titre du cycle

Descriptif

Les deux premières colonnes de chiffres à gauche définissent les variables d'état d'entrée pour les calculs

nom du point	température s...	humidité abs...	humidité relati...	enthalpie spé...	température h...	volume spécif...
point précis	33,27586	0,02337	0,71894	93,24688	28,8152	0,90092

Insérer Copier Supprimer Recalculer Valider

Les diagrammes interactifs THERMOPTIM utilisent cette propriété de l'éditeur pour définir les variables d'entrée utilisées lors du calcul d'un point : les deux premières colonnes de chiffres sur la gauche sont considérées par le progiciel comme indiquant les variables d'état connues à partir desquelles les autres grandeurs thermodynamiques doivent être calculées.

Les deux premières colonnes de chiffres à gauche définissent les

nom du point	humidité abs...	humidité relati...	température s...
point précis	0,02337	0,71894	33,27586

Supposons que vous désiriez calculer un point qui ait une humidité relative de 70 % et une température sèche de 33 °C. Entrez ces valeurs dans les cellules correspondantes, en prenant bien garde d'indiquer que la saisie d'une cellule est terminée en effectuant un retour chariot ou en cliquant dans une autre cellule. Cliquez ensuite sur le bouton "Recalculer" situé en bas à droite de l'éditeur. Le point est recalculé, et les valeurs s'affichent :

Les deux premières colonnes de chiffres à gauche définissent les variables d'état d'entrée pour les calculs

nom du point	température s...	humidité relati...	humidité abs...	enthalpie spé...	température h...	volume spécif...
point précis	33	0,70	0,02237	90,39636	28,23318	0,89871

Si vous souhaitez le point de température sèche de 33 °C et humidité absolue de 0,022 kg/kg, amenez la colonne des humidités absolues en deuxième ou troisième position, entrez cette valeur, puis cliquez sur le bouton "Recalculer". Vous obtenez le résultat suivant (on a ici redimensionné la fenêtre de l'éditeur et modifié la taille de certaines colonnes) :

Les deux premières colonnes de chiffres à gauche définissent les variables d'état d'entrée pour les calculs

nom du po...	température sèche	humidité absolue	humidité relative	enthalpie spécif...	température hu...	volume spécifi...
point précis	33	0,022	0,68875	89,44217	28,03591	0,89819

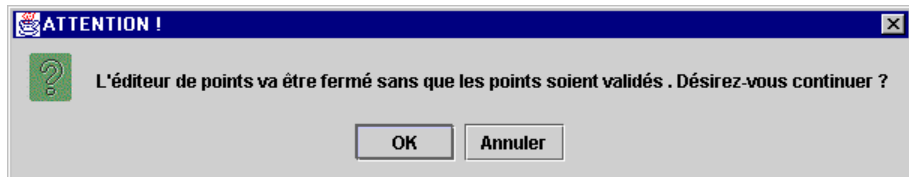
Comme vous le voyez, calculer un point avec précision ne pose aucune difficulté.

Tous les couples de valeurs comprenant la température sèche ou l'humidité absolue peuvent être calculés.

Une fois le point recalculé comme vous le souhaitez, vous pouvez reporter sur le diagramme les modifications effectuées dans l'éditeur de cycle en cliquant sur le bouton "Valider". Automatiquement, les points du tableau de l'éditeur sont alors repositionnés sur le diagramme.

Une fois de retour dans la fenêtre principale du diagramme, vous pouvez continuer à entrer des points. Pour qu'ils apparaissent dans l'éditeur points de cycle, vous devez de nouveau activer la ligne de menu "Editer un cycle" du menu "Cycle". Si l'éditeur était précédemment ouvert, un message vous avertit que les points ne seront pas validés si vous continuez.

La raison en est que le progiciel ne peut savoir si les bonnes valeurs sont celles du diagramme ou celles de l'éditeur. Si vous ne désirez pas valider les points antérieurement modifiés, répondez "OK". Sinon, annulez puis allez dans l'éditeur, validez les anciens points, et activez de nouveau la ligne de menu "Editer un cycle" du menu "Cycle", et répondez alors "OK".



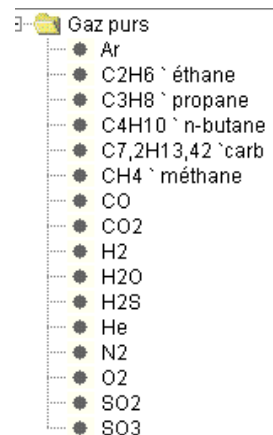
## Paramétrage de l'environnement de travail

L'environnement de travail des diagrammes interactifs est très largement paramétrable pour vous permettre de le personnaliser. Lors de la première ouverture du progiciel, des valeurs par défaut sont utilisées. Ultérieurement, vos modifications sont enregistrées automatiquement dans différents fichiers de configuration, de telle sorte que vos choix sont conservés d'une session à l'autre.

### Sélection du gaz

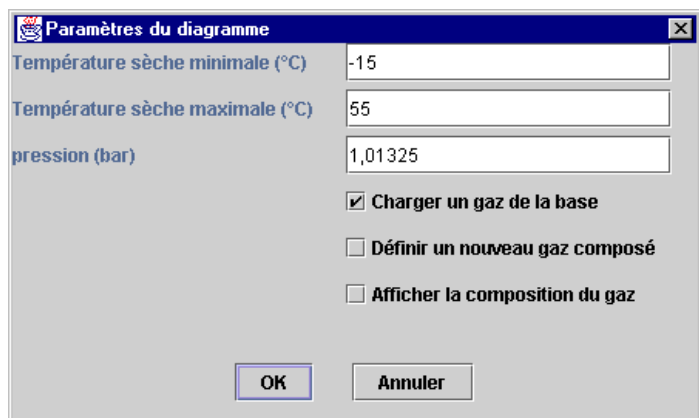
Le progiciel comporte une quinzaine de gaz purs qui peuvent être combinés pour former autant de gaz composés que vous le désirez. Les gaz composés peuvent être définis à loisir en utilisant un éditeur, ou bien choisis parmi la liste des gaz existants.

Le progiciel comporte une quinzaine de gaz purs qui peuvent être combinés pour former autant de gaz composés que vous le désirez.



Les gaz composés peuvent être définis à loisir en utilisant l'éditeur présenté plus loin, ou bien choisis parmi la liste des gaz existants.

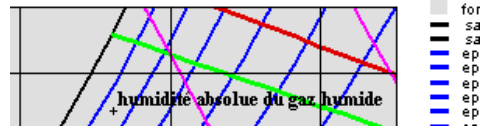
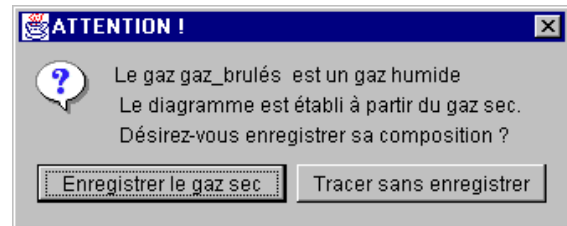
Le choix du gaz dont le diagramme s'affiche est fait à partir soit de la ligne "paramètres" du menu "Graphe", soit de la ligne "Charger un gaz de la base" du menu "Editeur de gaz", ce qui provoque l'affichage de la liste des gaz disponibles. Sélectionnez alors le gaz dont vous désirez construire le diagramme psychrométrique (par exemple ici "gaz\_brûlés"), puis cliquez sur "OK".



Il s'agit ici de gaz de combustion, qui contiennent de l'eau. le gaz est donc humide, alors que le diagramme psychrométrique est établi à partir du gaz sec. La composition du gaz sec est automatiquement déterminée par le progiciel, et un message vous propose soit de l'enregistrer, soit de tracer le diagramme sans le faire.

Si vous désirez enregistrer le gaz sec, vous devez lui donner un nom. Sinon, le logiciel crée un gaz sec intermédiaire qui n'apparaît pas dans la liste des corps composés.

Dans tous les cas, le diagramme est construit pour le gaz sélectionné, à partir de la composition du gaz sec. De surcroît, un nouveau point est créé pour enregistrer l'humidité absolue du gaz humide, la température sèche étant choisie arbitrairement à proximité de la courbe de saturation. L'intérêt de conserver la valeur de l'humidité absolue est de vous permettre d'effectuer sur le diagramme relatif au gaz sec des calculs correspondant exactement au gaz humide initial (pour le diagramme (w,t), le lieu des états possibles pour ce gaz humide est la demi-droite horizontale située à droite de la courbe de saturation et passant par le point créé).



Ce point peut être affiché dans l'éditeur de points de cycle, et donc recalculé comme vous le souhaitez. Il vous suffit pour cela de spécifier la température sèche qui vous intéresse.

Les deux premières colonnes de chiffres à gauche démontrent les variables

nom du point	température sèche	humidité abs...	t
humidité absolue du gaz humide	36,1749	0,0322883	0

## Définition d'un nouveau gaz composé

Si vous cochez la case "Définir un nouveau gaz composé", le logiciel vous demande tout d'abord de lui donner un nom, puis ouvre l'éditeur de composition de gaz, qui ressemble à l'éditeur de points de cycle que nous avons vu précédemment, avec cependant quelques différences.

Il y a dans cet éditeur seulement trois colonnes : la première comporte la liste des gaz purs présents dans la base, et les deux autres correspondent aux fractions molaires et massiques. Vous pouvez indifféremment travailler en variables molaires ou massiques, à condition de n'en utiliser qu'une catégorie. Thermoptim considère que la première colonne de chiffres sur la gauche contient les données à prendre en compte, les autres étant calculées à partir de celles là (on déplace aisément les colonnes en cliquant sur leur intitulé et en le faisant glisser latéralement). Toutefois, si on choisit d'entrer les fractions massiques, il faut que les valeurs des fractions molaires soient mises à 0. Bien évidemment, la somme des fractions molaires ou massique doit être égale à 1.

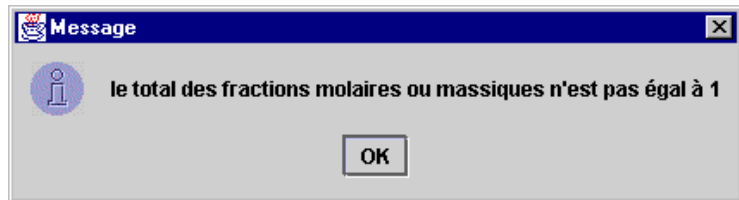


Pour définir un gaz composé, vous choisissez successivement ses composants parmi la liste des gaz purs de la colonne de gauche (qui s'affiche lorsque vous cliquez dans la cellule correspondante), puis vous entrez leurs fractions molaires ou massiques.

Pour insérer une nouvelle ligne, cliquez sur le bouton "Insérer".

Lorsque vous avez terminé votre saisie, validez en cliquant sur "Enregistrer". Le logiciel vérifie que la somme des fractions molaires ou massiques est bien égale à 1. Si ce n'est pas le cas, l'enregistrement ne peut avoir lieu et vous en êtes averti.

Il vous est toutefois possible de faire en sorte que le progiciel complète à 1 la somme des fractions molaires ou massiques, en calculant celle de l'un des composants que vous laissez indéterminée, en n'entrant aucune valeur dans le champ correspondant. Seule la première valeur indéterminée est prise en compte, les autres étant mises à 0. Par ailleurs, les fractions molaires ou massiques ne peuvent bien évidemment être négatives.



Si la composition est cohérente, le gaz est enregistré et ses fractions molaires et massiques recalculées, comme dans l'exemple ci-dessous, puis le diagramme est ensuite automatiquement recalculé et affiché.

nom du composant	fraction molaire	fraction massique
O2	0,21	0,233
N2	0,79	0,767

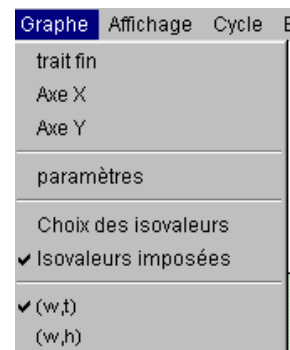
L'éditeur de gaz comporte d'autres boutons dont l'utilisation sera expliquée plus loin.

## Sélection du type de diagramme

Pour les gaz humides (mélanges d'eau et d'un gaz idéal), les diagrammes suivants sont disponibles :

- le diagramme psychrométrique ou de Carrier (w,t), avec la température de bulbe sec en abscisse et l'humidité spécifique en ordonnée ;
- le diagramme de Mollier humide (w,q') ou (w,h), avec l'humidité spécifique en abscisse et l'enthalpie spécifique en ordonnée.

Pour afficher un type de diagramme, cliquez sur la ligne correspondante. Le changement d'affichage se fait immédiatement à l'écran.

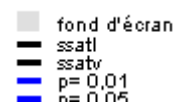


## Sélection de l'épaisseur du tracé

Par défaut, les tracés sont effectués en traits épais. Vous pouvez réduire l'épaisseur du tracé en cliquant sur la ligne "trait fin" du menu "Graphe". Elle est alors renommée "trait épais" et son activation ultérieure permet de rétablir l'épaisseur initiale si vous le souhaitez.

## Modification des couleurs des traits et du fond d'écran

L'ensemble des couleurs utilisées pour le tracé des courbes d'isovaleurs et pour le fond d'écran est personnalisable. Pour modifier une couleur, double-cliquez sur un des petits rectangles où elle apparaît dans la légende située à droite de l'écran.



L'éditeur de couleurs ci-contre est affiché (dans cet exemple, il s'agit de la couleur du fond d'écran).

Trois curseurs correspondant aux composantes rouge, verte et bleue de la couleur vous permettent d'effectuer votre choix. Dans le rectangle situé à gauche au milieu, la couleur d'origine est rappelée, tandis que la nouvelle couleur est composée dans celui de droite, au fur et à mesure que vous déplacez les curseurs. Lorsque votre choix est fait, cliquez sur "OK". La couleur est alors mémorisée.





## Modification de la disposition des axes

La disposition des axes des abscisses et des ordonnées peut être modifiée en activant la ligne "Axe X" ou "Axe Y" du menu "Graphe". La fenêtre ci-contre est alors affichée.

Si vous cliquez sur la case "Graduations", des traits verticaux pour l'axe des abscisses et horizontaux pour celui des ordonnées sont tracés à l'écran, au niveau du pas principal de l'axe.

Si vous cliquez sur la case "Echelle automatique", le progiciel cherchera une échelle couvrant l'ensemble des données relatives au corps sélectionné. L'échelle est logarithmique si vous cochez la case correspondante, et linéaire sinon.

Si la case "Echelle automatique" n'est pas sélectionnée, vous pouvez entrer les valeurs minimales et maximales que vous désirez. Les valeurs du pas principal et du pas secondaire peuvent être soit calculées automatiquement, soit entrées par vous, selon que la case "Auto" correspondante est activée ou non. Si les valeurs des pas ne sont pas cohérentes avec celles du minimum et du maximum ou entre elles, un beep est émis pour vous avertir.

Attention : si la case "Echelle automatique" est activée, vos valeurs seront remplacées par celles que le progiciel déterminera automatiquement.

Après avoir effectué vos modifications, cliquez sur "OK" pour enregistrer vos choix, ou sur "Annuler" pour revenir aux valeurs précédentes.

## Autres paramètres du diagramme

En activant la ligne "paramètres" du menu "Graphe", vous avez la possibilité de modifier soit la pression utilisée pour l'établissement du diagramme psychrométrique, soit les bornes de l'intervalle de calcul des températures sèches. En effet, le diagramme étant recalculé en permanence, le tracé des isovaleurs par grandeur affichée est fait soit automatiquement en fonction de l'intervalle de travail défini par l'utilisateur, ceci afin d'obtenir une bonne lisibilité, soit pour les valeurs spécifiées par l'utilisateur (cf. section "Choix des isovaleurs").

Les deux valeurs minimale et maximale de l'intervalle de température sèche sont par ailleurs utilisées par l'éditeur de points de cycle, lors du recalcul d'un point, pour borner les valeurs des différents gradeurs utilisés comme variables d'entrée. Si vous entrez une valeur hors limite, le calcul est impossible et vous en êtes averti. Ce message indique que vous demandez le calcul d'une valeur impossible à atteindre dans l'intervalle de température que vous avez défini. La solution est donc soit de diminuer la valeur recherchée, soit de redéfinir l'intervalle de température.

Vous pouvez enfin éditer la composition du gaz pour lequel le diagramme est construit s'il ne s'agit pas d'un gaz protégé. Activez pour cela la case "Afficher la composition du gaz" de la fenêtre de paramètres. Vous accédez à l'éditeur de composition de gaz, qui vous permet d'effectuer des modifications si vous le souhaitez. Pour enregistrer ces modifications, vous avez le choix entre d'une part le bouton "Enregistrer", qui modifie en conséquence la composition du gaz sélectionné, et d'autre part le bouton "Enregistrer sous", qui vous permet de sauvegarder vos modifications en créant un nouveau gaz.

## Opérations sur les cycles

Vous avez auparavant appris à créer et modifier des points. Dans la suite de ce manuel, nous parlerons de cycle pour désigner un ensemble de points.

## Création de points à partir de l'éditeur de cycle

Outre les fonctions de recalcul et de validation de points vues précédemment, l'éditeur de cycle comporte trois autres boutons : "Insérer", "Copier" et "Supprimer", qui permettent d'effectuer des ajouts, copies et suppressions de lignes du tableau.

Pour ajouter un nouveau point, sélectionnez une seule ligne, puis cliquez sur "Insérer". Le progiciel insère juste au dessus de la ligne choisie une nouvelle ligne, dont toutes les valeurs sont mises à zéro. Donnez un nom à ce nouveau point, choisissez deux variables d'entrée, placez leurs colonnes sur la gauche et entrez leurs valeurs, puis cliquez sur "Recalculer" pour obtenir l'état complet du point.

Vous pouvez aussi, une fois la nouvelle ligne insérée, copier une autre ligne pour la coller dessus. Pour cela, placez-vous sur la ligne du point que vous désirez copier, et cliquez sur "Copier". L'intitulé du bouton est alors modifié et devient "Coller". Placez-vous sur la ligne de destination, et cliquez sur "Coller". Les valeurs sont copiées.

Pour supprimer une ligne inutile, sélectionnez-la puis cliquez sur "Supprimer".

Une fois les points créés comme vous le désirez, cliquez sur "Valider" pour qu'ils soient reportés sur le diagramme et affichés.

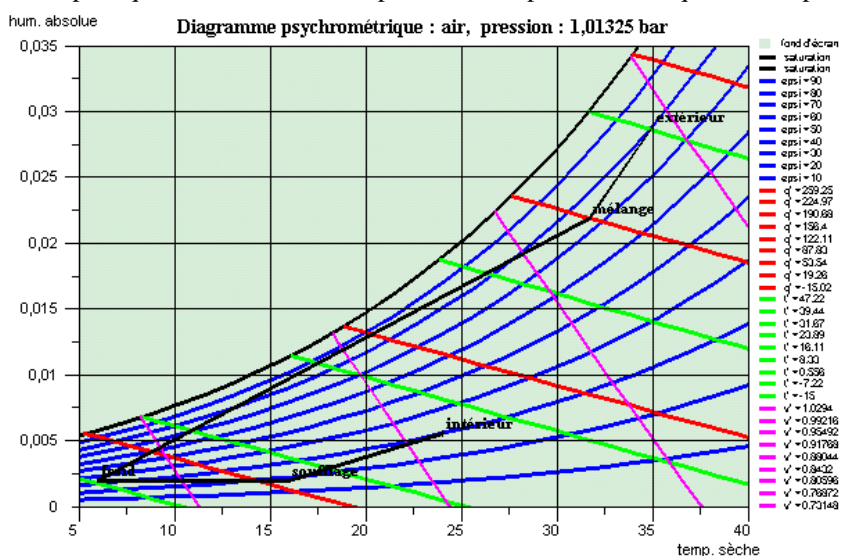
## Affichage des points reliés

Lorsque les points sont affichés sur le diagramme, ils apparaissent par défaut séparés les uns des autres. Il est possible de les relier par une ligne brisée en activant la ligne "Points reliés" du menu "Cycle". Cette manière de faire est couramment utilisée en thermodynamique pour représenter un cycle. Dans l'exemple suivant, on a représenté un cycle de conditionnement d'air :

Le progiciel relie alors les points dans l'ordre dans lequel ils apparaissent dans l'éditeur, en partant de la première ligne et en finissant par la dernière. Il se peut que l'ordre d'entrée des points ne soit pas le bon, auquel cas l'aspect du cycle relié n'aura pas grand sens. Il est alors nécessaire de remettre les points dans le bon ordre à l'aide de l'éditeur de cycle.

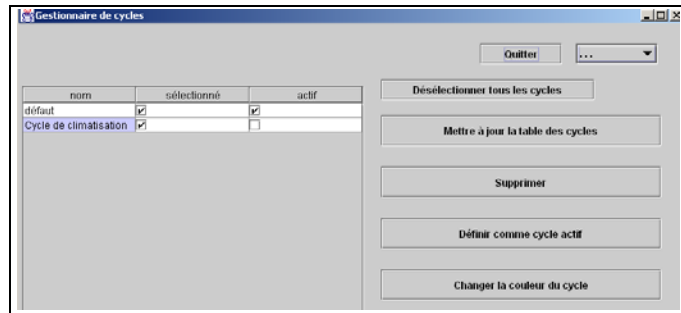
Pour cela, il suffit de déplacer les différents points en opérant de la manière suivante :

- le plus simple est de sélectionner la ligne du point que vous désirez déplacer, et de la faire remonter ou descendre dans la table en cliquant sur les petites flèches situées sur sa droite ;
- vous pouvez aussi opérer en insérant et supprimant des lignes ;
- terminez en cliquant sur "Valider". Le cycle apparaît alors sur le diagramme dans l'ordre que vous avez défini.



## Gestionnaire de cycles

Une nouvelle ligne de menu appelée "Gestionnaire de cycles" a été ajoutée au menu "Cycle". Si vous la sélectionnez, vous ouvrez l'écran ci-contre. Si vous cliquez sur "Mettre à jour la table des cycles", tous les cycles déjà chargés sont affichés. Ici, deux cycles sont chargés : le cycle par défaut qui est "actif", et un second qui a été chargé à partir d'un fichier.



Le titre du cycle tel qu'il a été défini dans l'éditeur de points de cycle est affiché comme nom.

Vous sélectionnez le cycle actif en choisissant sa ligne puis en cliquant sur "Définir comme cycle actif". Le cycle actif a les propriétés suivantes :

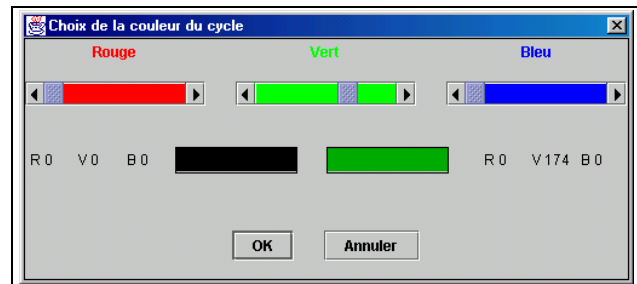
- il est connecté au simulateur (dans le cas où les diagrammes interactifs sont connectés à Thermoptim)
- c'est celui sur lequel opèrent les lignes du menu "Cycle", c'est-à-dire qu'il peut être effacé, sauvegardé, que ses points peuvent être édités dans l'éditeur de points de cycles...

Si vous double-cliquez sur une ligne, vous changez son statut dans la colonne "sélectionné": s'il est coché, le cycle est tracé sur le diagramme, sinon il ne l'est pas. Vous pouvez désélectionner tous les cycles en cliquant sur "Désélectionner tous les cycles". Vous pouvez supprimer un cycle de la liste en sélectionnant sa ligne et en cliquant sur "Supprimer". Son tracé est aussi supprimé du diagramme.

Dans la partie supérieure droite du gestionnaire apparaît une liste à choix multiple qui vous permet de choisir le mode de tracé du cycle qui est sélectionné : en trait continu, en pointillés ou en tirets.

## Changement de la couleur du cycle

Jusqu'à la version 1.3, tous les cycles étaient tracés en noir. Il est maintenant possible de sélectionner la couleur de la même manière que vous le faites pour les courbes du diagramme. Pour changer la couleur d'un cycle, sélectionnez sa ligne et cliquez sur "Changer la couleur du cycle". Un écran vous permettant de choisir sa couleur est affiché. Pour sauver la nouvelle couleur, définissez ce cycle comme le cycle actif, et sauvez-le.



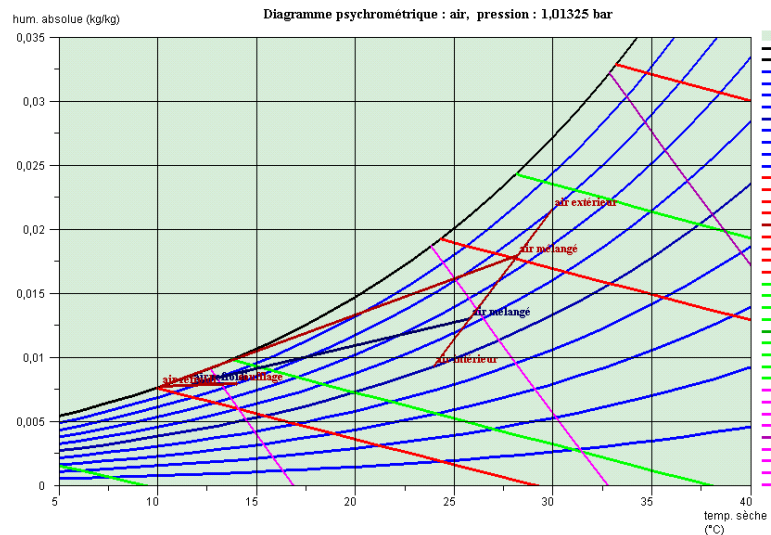
Supprimer le cycle actif revient à l'effacer à partir du menu du diagramme. Pour générer un nouveau cycle actif, vous pouvez soit définir un autre cycle comme actif, soit créer des points sur le diagramme, ouvrir l'éditeur de points de cycles et valider.

## Superposition de plusieurs cycles sur un diagramme

Pour tracer plusieurs cycles sur un même diagramme, il suffit de les charger ensemble à partir de différents fichiers et de les sélectionner dans le gestionnaire de cycles. Ils apparaissent automatiquement sur le diagramme. Ici, on a superposé deux cycles de climatisation avec des taux de recirculation de l'air intérieur différents.

### Effacement d'un cycle

Il est possible d'effacer le cycle actif à partir de la ligne "Effacer le cycle" du menu "Cycle". Cette opération supprime les valeurs des points correspondants, qui ne peuvent être réaffichés si le cycle n'a pas été enregistré auparavant. Pour simplement ne plus faire apparaître un cycle à l'écran sans que ses points soient perdus, désélectionnez-le dans le gestionnaire de cycles, en double-cliquant sur la ligne correspondante comme indiqué plus haut.



### Enregistrement d'un cycle

Une fois qu'un ensemble de points a été entré, et éventuellement recalculé et validé, il peut être sauvegardé sous format texte, en vue d'un retraitement ultérieur soit par le progiciel, soit par un autre logiciel comme un traitement de textes ou un tableur. Pour cela, activez la ligne de menu "Enregistrer le cycle" du menu "Cycle".

Une fenêtre de dialogue vous permettant de donner un nom à votre fichier vous est présentée. Entrez un nom et cliquez sur "Enregistrer" pour que le cycle soit sauvegardé. Par défaut, le dossier de sauvegarde est cycle/psycho.

### Chargement d'un cycle

Vous pouvez importer dans le progiciel, pour l'afficher ou le retraiter, un cycle qui a été soit enregistré auparavant, soit créé dans un autre environnement. Il suffit pour cela de configurer de manière compréhensible par le progiciel un fichier de données structuré selon le format suivant :

	A	B	C	D	E	F	G
1	DIAGRAMME INTERACTIF THERMOPTIM. Copyright 1998-2002 R. GICQUEL						
2	Fichier de cycle	April 30, 2002 5:34:33 o'clock PM CEST					
3	lang=fr	color=true	saveUniv=true				
4	Titre du cycle	Cycle de climatisation					
5	Descriptif	Ce cycle représente une centrale de traitement d'air					
6	Gaz sélectionné : air, pression (bar) : 1,01325						
7	Nombre de points	5					
8	nom du point	temp. sèche (°C)	hum. absolue (kg/kg)	hum. relative	enth. spécifique (kJ/kg)	temp. humide (°C)	vol. spécifique (m3/kg)
9	extérieur	35	0.028895	0.8	109.24016	31.81318	0.913708
10	mélange	31.7	0.02187	0.736307	87.76428	27.65776	0.894169
11	froid		6	0.002	11.03521	0.903842	0.793524
12	soufflage	16	0.002	0.178719	21.09016	6.26721	0.82195
13	intérieur	24	0.00554189	0.3	38.15519	13.69668	0.849485
14							
15	Couleurs des traits du graphique						
16	199	0	0				
17							

Il s'agit dans l'exemple ci-dessus d'un fichier créé par le progiciel, mais tout fichier structuré de la même manière peut être relu et traité. Le séparateur de ligne est le retour chariot, et celui des colonnes la tabulation.

Les deux premières lignes ne sont pas prises en compte (mais elles doivent être présentes). La troisième fournit divers renseignements : la langue de création du cycle est le français, le cycle est en couleur, et il est sauvegardé indépendamment de sa langue de création (c'est-à-dire selon un formatage anglais des nombres).

La quatrième et la cinquième lignes donnent en deuxième colonne le titre du cycle et son descriptif. Si les cellules de la première colonne sont vides, ces informations ne sont pas relues.

La sixième ligne doit comporter en première colonne un texte comprenant le nom du corps utilisé (Ceci afin d'avertir l'utilisateur si le corps sélectionné dans le diagramme n'est pas le même que celui qui a servi à calculer le cycle). La pression est indiquée pour mémoire, mais elle n'est pas relue.

La septième ligne doit comporter en première colonne un texte non vide, et en seconde colonne le nombre de points du cycle.

La huitième ligne n'est pas prise en compte (mais elle doit être présente)

Les lignes suivantes correspondent à l'intitulé et aux valeurs des points. L'ordre d'apparition doit être celui qui est donné dans l'exemple ci-dessus (intitulé, température sèche, humidité absolue, humidité relative, enthalpie spécifique, température humide, volume spécifique).

Les deux dernières lignes définissent la couleur du cycle en codage RGB.

Lorsqu'on dispose d'un fichier structuré de cette manière, il peut être relu par le progiciel. Bien évidemment, tous les fichiers sauvegardés par le progiciel ont la bonne structure.

Pour importer un fichier de cycle, activez la ligne de menu "Charger un cycle" du menu "Cycle". Comme lors de l'enregistrement, une fenêtre de dialogue vous permettant de sélectionner votre fichier vous est présentée.

Si des points ont déjà été saisis, ou si un autre cycle a été chargé, un message vous en avertit. Si vous annulez, les points existants ne sont pas modifiés, et le chargement de cycle est abandonné. Si vous poursuivez l'opération, les points existants sont supprimés et remplacés par ceux du nouveau cycle.

## ***Editeur de gaz composés***

Le progiciel comporte un éditeur de gaz composés que nous avons rapidement évoqué à propos de la définition d'un nouveau gaz. Dans cette section, nous détaillerons les différentes possibilités offertes par cet éditeur, ainsi que les fonctions du menu "Editeur de cycle". La manière de procéder pour définir ou modifier un gaz composé étant expliquée page 9, nous ne la détaillerons pas ici. Nous présenterons en revanche les fonctions disponibles pour enregistrer, supprimer, exporter ou importer des gaz composés dans la base de données du progiciel.

Notez qu'il est possible d'avoir plusieurs éditeurs de gaz composés ouverts simultanément, et que les gaz qui y sont affichés ne sont pas nécessairement celui qui est utilisé pour le diagramme.

Les trois premières lignes du menu "Editeur de gaz" ont la même fonction que celles que l'on trouve dans l'écran des paramètres.

### **Chargement d'un gaz de la base**

La première ligne ouvre la fenêtre de sélection des gaz purs et composés, pour charger un nouveau gaz pour lequel le diagramme est alors tracé.

### **Affichage de la composition du gaz**

La deuxième ligne permet d'afficher la composition du gaz sélectionné.

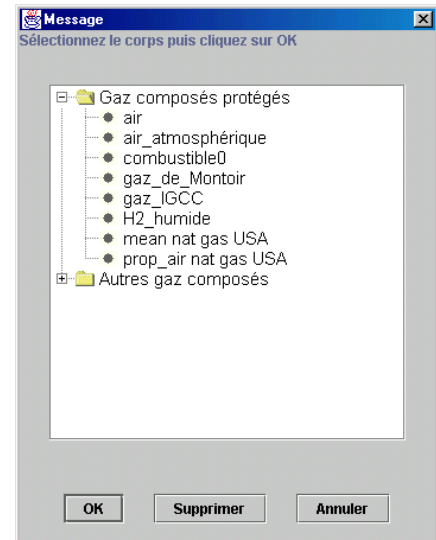
### **Création d'un nouveau gaz**

La troisième ligne permet de créer un nouveau gaz.

## Edition d'un gaz, fonctions de l'éditeur de gaz

Pour éditer un gaz, activez la ligne "Editer un gaz..." du menu "Editeur de gaz". Un écran de choix semblable à celui qui permettait de sélectionner le gaz du diagramme vous est présenté. Il en diffère cependant sur deux points :

- d'une part seuls les gaz composés disponibles sont proposés, l'édition d'un gaz pur n'ayant pas de sens
- et d'autre part un bouton "Supprimer" vous permet de supprimer de la liste des gaz composés non protégés ceux dont vous n'avez plus besoin. Il suffit pour cela de les sélectionner un par un, puis de cliquer sur le bouton. Un message de confirmation vous donne la possibilité d'annuler l'opération en cas de mauvaise manœuvre.



Si vous sélectionnez un gaz et que vous cliquez sur "OK", la composition du gaz choisi apparaît dans l'éditeur.

**Composition du gaz gaz\_brûlés\_IGCC**

La première colonne de chiffres à gauche indique si la saisie est faite en variables molaires ou massiques

nom du composant	fraction molaire	fraction massique
O2	0,1152211	0,1264579
N2	0,7540377	0,724501
H2O	0,05062008	0,03127836
CO2	0,07498776	0,1131931
CO	0,002962094	0,00284576
H2	0,0009617037	0,00006649455
Ar	0,00120959	0,00165743

Edition des lignes

Insérer Copier Supprimer

Fichier

Enregistrer Enregistrer sous... Exporter... Créer un gaz humide Annuler

Il est possible de modifier la composition du gaz, en choisissant les noms des constituants parmi la liste des gaz purs qui est proposée, et en entrant soit les fractions molaires, soit les fractions massiques. Une fois défini, le gaz composé peut être :

- enregistré, en cliquant sur "Enregistrer". Le progiciel vérifie que le gaz est non protégé et que la somme des fractions de la colonne de chiffres de gauche est bien égale à 1, puis enregistre le gaz. Si la somme diffère de 1, rien n'est fait, sauf si vous avez laissée indéterminée une des fractions, comme indiqué précédemment.
- renommé, en cliquant sur "Enregistrer sous...". Le test sur la somme des fractions est effectué, et le gaz sauvegardé sous le nouveau nom qui vous est demandé.
- exporté, en cliquant sur "Exporter...". La composition du gaz est alors copiée dans un fichier texte dont vous donnez le nom, et que vous pouvez ouvrir avec un logiciel de traitement de texte ou un tableur. Par exemple, le gaz précédent peut être exporté sous le format suivant :

- il est aussi possible de créer, à partir du gaz affiché dans l'éditeur, un gaz humide d'humidité absolue donnée. Pour cela, cliquez sur "Créer un gaz humide". Le progiciel vous demande le nom du gaz et l'humidité absolue que vous désirez, puis construit un nouveau gaz composé, de même gaz sec que le gaz de l'éditeur, et d'humidité absolue égale à celle que vous avez entrée. Ce gaz est ajouté à la liste des gaz composés de la base de données. Vous pouvez y accéder par les écrans de sélection précédents.

	A	B	C	D
1	DIAGRAMME INTERACTIF THERMOPTIM.	Copyright 1998	R. GICQUEL	
2	Fichier de gaz composé	16 février 1999 11 h 31 GMT+01:00		
3				
4	Nom du gaz	gaz_brûlés_IGCC		
5	Nombre de constituants	7		
6	nom du composant	fraction molaire	fraction massique	
7	O2	0,1152211	0,1264579	
8	N2	0,7540377	0,724501	
9	H2O	0,05062008	0,03127836	
10	CO2	0,07498776	0,1131931	
11	CO	0,002962094	0,00284576	
12	H2	0,0009617037	0,00006649455	
13	Ar	0,00120959	0,00165743	
14				

- enfin, si vous annulez, l'éditeur de gaz composé est fermé.

## Importation d'un gaz

De la même manière que vous pouvez exporter un gaz sous forme d'un fichier texte, il est possible d'en importer en activant la ligne "Importer un gaz" du menu "Editeur de cycle". Le format du fichier de définition du gaz à importer doit être le même que celui qui est utilisé pour les fichiers d'exportation.

Les données qui sont relues sont les suivantes : la deuxième cellule de la quatrième et de la cinquième lignes, qui donnent le nom du gaz et le nombre de constituants, et les trois premières cellules des lignes sept et suivantes, en fonction du nombre de constituants, qui donnent les noms et les fractions molaires et massiques des constituants.

Les premières cellules des quatrième et cinquième lignes ne sont pas relues, mais doivent être présentes avec des caractères. Les lignes 1 à 3 et 6 doivent aussi être présentes et non vides.

## Impression d'un diagramme, fin de session

### Impression d'un diagramme

L'impression d'un diagramme se fait soit à partir de la ligne "Imprimer" du menu "Fichier", soit par le raccourci clavier Control P. Un écran de sélection d'imprimante et de choix de configuration est alors proposé.

### Fin de session

Pour quitter l'application, vous pouvez soit activer la ligne "Quitter" du menu "Fichier", soit utiliser le raccourci clavier Control Q. Un écran de confirmation vous est alors proposé. Les paramètres d'environnement que vous avez choisis sont automatiquement sauvegardés.

## Choix des isovaleurs pour les diagrammes psychrométriques

Les diagrammes psychrométriques peuvent être utilisés pour une très large variété de gaz secs, dans des intervalles de température quelconques et pour la pression désirée par l'utilisateur.

Si l'on désire obtenir un fond de diagramme adapté à un paramétrage donné, les isovaleurs à tracer pour l'humidité relative, l'enthalpie spécifique, la température humide et le volume spécifique doivent être recalculées en fonction des choix effectués par l'utilisateur. C'est ce qui est fait par défaut dans les diagrammes psychrométriques interactifs. Cette solution présente l'avantage de permettre une adaptation automatique du fond de diagramme, mais elle ne répond pas aux attentes de tous les utilisateurs, certains préférant choisir eux-mêmes les valeurs des courbes tracées, en particulier pour pouvoir les utiliser facilement une fois imprimés.



Afin de leur donner satisfaction, le logiciel a été modifié pour pouvoir accepter deux modes de définition des isovaleurs : le mode automatique initial, et un nouveau mode où elles sont imposées. Les isovaleurs imposées sont relues dans un fichier spécifique appelé "isopsy.txt" placé dans le sous-répertoire "data" du répertoire d'installation.

Ce fichier a la structure suivante :

Fichier de définition des isovaleurs pour diagramme psychrométrique

epsilon nepsi=9

0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9

qprime nqprime=13

100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000 1200 1400 1600

tprime ntprime=11

30 35 40 45 50 55 60 65 70 72 74

vprime nvprime=5

0.8 1.6 1.8 2 2.2 2.5

Après le libellé de chaque type d'isovaleur, séparé par une tabulation, est indiqué le nombre de valeurs à tracer, par exemple nepsi=9. L'entier situé après le signe égal donne le nombre de valeurs à relire ligne suivante. Les règles sont que cet entier soit inférieur ou égal au nombre de valeurs apparaissant à la ligne suivante, et que le total des nombres d'isovaleurs soit inférieur ou égal à 58 (au lieu de 36 en mode automatique).

Ce fichier peut être construit soit à l'aide d'un éditeur de texte ou d'un tableur, soit directement à partir du logiciel, grâce à une interface particulière mise au point pour cela, accessible par deux lignes du menu "Graphe".

"Choix des isovaleurs" ouvre une fenêtre à onglets présentant la liste courante des isovaleurs, et permettant à l'utilisateur de les modifier, d'en ajouter ou d'en supprimer.

"Isovaleurs imposées" fait passer le logiciel du mode de calcul automatique des isovaleurs à celui où elles sont imposées par l'utilisateur.



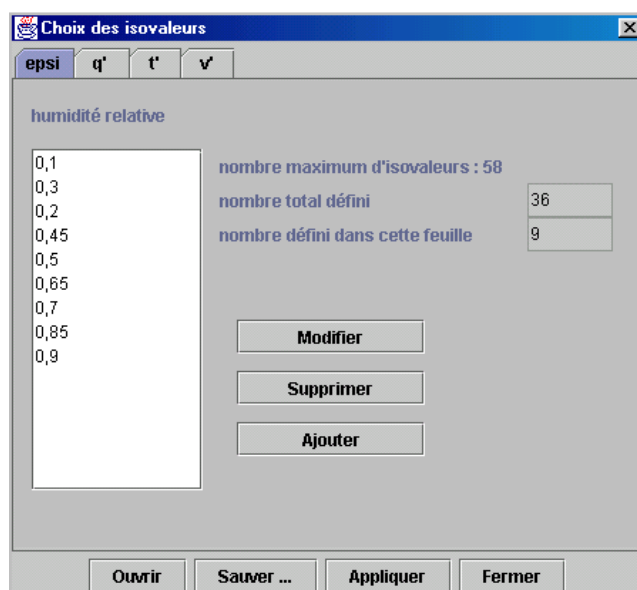
## Choix des isovaleurs

La fenêtre à onglets ci-contre donne accès à l'éditeur d'isovaleurs.

Pour en modifier une il suffit de la sélectionner puis de cliquer sur le bouton "Modifier". La valeur sélectionnée est affichée dans une fenêtre de modification. Agissez de même pour une suppression.

Pour ajouter une valeur, sélectionnez-en une, puis cliquez sur "Ajouter". La nouvelle valeur est insérée avant celle qui était sélectionnée, ou placée en dernière position si aucune valeur n'est sélectionnée.

On notera que les humidités relatives sont exprimées en valeur algébrique, et non pas en pourcentage.



Le nombre maximum d'isovaleurs qui peuvent être définies (58) est rappelé, ainsi que le nombre total de celles qui sont déjà définies (ici 36), et le nombre de celles qui sont définies dans la feuille courante (ici 9 pour les humidités relatives).



En cliquant sur un autre onglet, vous changez de type d'isovaleur, et vous pouvez ainsi les paramétrer comme vous le désirez.

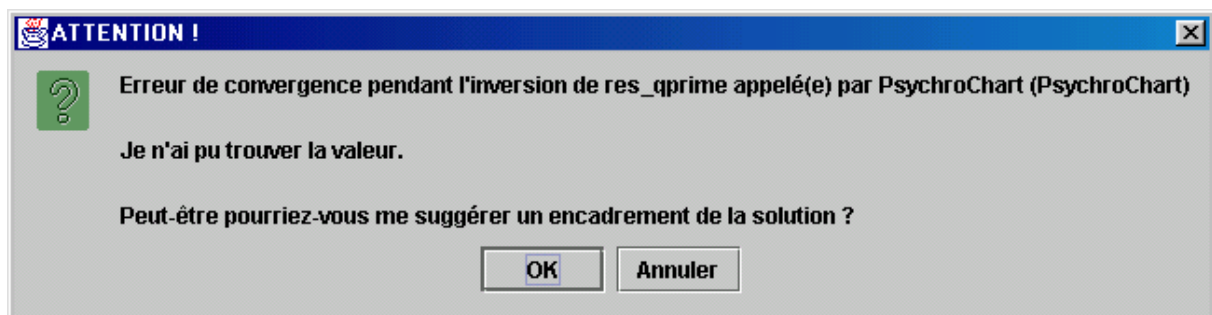
Une fois votre paramétrage effectué, vous pouvez le définir comme étant le jeu d'isovaleurs à retenir pour le diagramme courant en cliquant sur le bouton "Appliquer". Il est alors sauvegardé sous format texte dans le fichier "isopsy.txt" du sous-répertoire "data" du répertoire d'installation. Le jeu de valeurs antérieur est alors effacé.

## Constitution d'une bibliothèque de fichiers d'isovaleurs

En cliquant sur le bouton "Sauver", vous pouvez aussi sauver le jeu d'isovaleurs que vous avez défini pour l'archiver sous un nom quelconque dans le sous-répertoire "isoval" du répertoire d'installation. Il vous est alors possible de l'ouvrir ultérieurement pour le charger ou le modifier en cliquant sur le bouton "Ouvrir". De cette manière, il est possible pour un utilisateur de se constituer une bibliothèque de jeux d'isovaleurs à utiliser pour différents paramétrages des diagrammes. Il lui suffit d'ouvrir un fichier existant et de cliquer sur "appliquer" pour qu'il vienne remplacer le jeu précédemment sélectionné.

## Non-convergence des algorithmes d'inversion

Attention : si le jeu d'isovaleurs sélectionné est incompatible avec le paramétrage du diagramme, le logiciel peut rencontrer des problèmes de non-convergence dans ses procédures d'inversion des équations. Des messages de ce type peuvent apparaître :

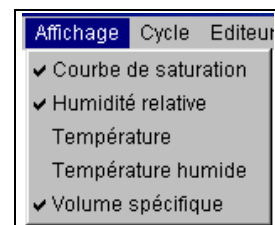


Vous avez alors le choix entre soit répondre "OK" et fournir à chaque calcul les valeurs de l'intervalle de température, ce qui peut être un peu fastidieux, soit cliquer sur "Annuler", ce qui est un peu plus rapide.

Si vous voulez éviter ce type de mauvaise surprise, commencez par laisser le logiciel calculer automatiquement un jeu de valeurs cohérent avec son paramétrage, et effectuez le vôtre pour des valeurs comprises entre les valeurs limites affichées, ou bien modifiez le paramétrage de votre diagramme (essentiellement les températures minimale et maximale) jusqu'à ce que les valeurs calculées correspondent à peu près aux vôtres.

## Affichage des courbes d'isovaleurs

Le menu "Affichage" permet de sélectionner les courbes d'isovaleurs qui apparaissent à l'écran.



Seules les isovaleurs dont le nom est coché sont tracées. Si par exemple, dans le diagramme de Mollier humide, vous ne cochez que la courbe de saturation, les humidités relatives et les volumes spécifiques, le diagramme prend l'aspect suivant :

