



LE DIAGRAMME DE L'AIR HUMIDE



04.73.34.96.60

www.bbs-slama.com

contact@bbs-slama.com



LE DIAGRAMME DE L'AIR HUMIDE

Document mis à jour le 8 juin 2021

SOMMAIRE

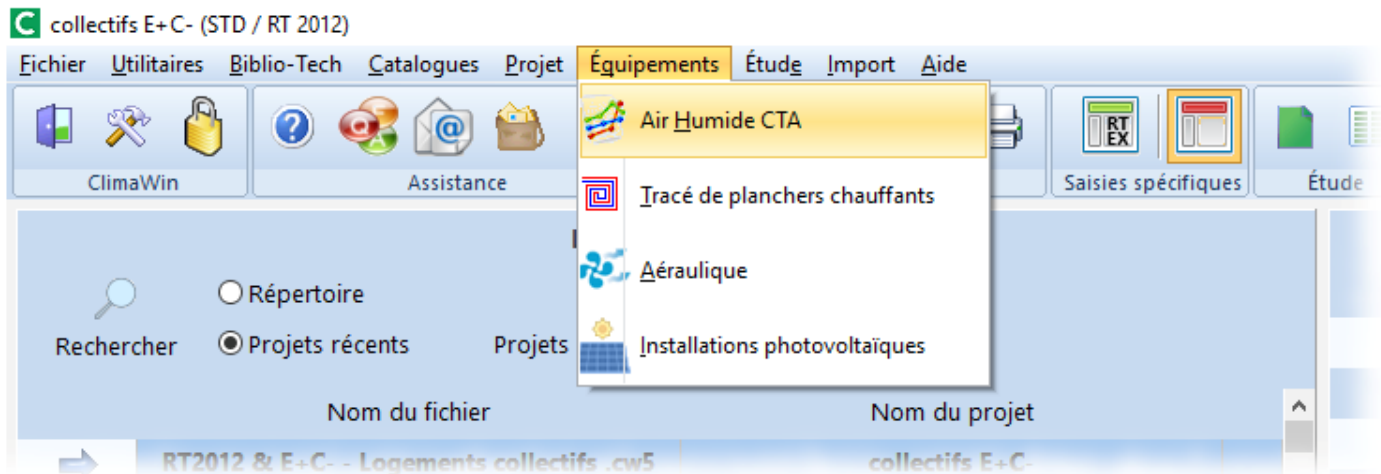
1.	Utilisation du module	5
2.	Les boutons de la barre d'icônes	7
2.1.	Les options d'affichage	8
2.2.	Le choix des couleurs	9
2.3.	Comment placer ou déplacer un point	10
2.4.	La saisie manuelle des points	10
2.5.	Le zoom	11
2.6.	Les impressions	12
3.	Création et rappel d'une centrale	13
4.	Évolution	14
4.1.	Évolution simple	14
4.2.	Évolution après mélange	15
5.	Mode refroidissement	15
5.1.	Centrale simple flux	15
5.2.	Centrale double flux sans recyclage	16
5.3.	Complément par un système à air	16
5.3.1.	Complément par un système sec	17
5.3.2.	Complément par un système mixte	18
5.4.	Centrale double flux avec recyclage	18
5.4.1.	Centrale assurant un prérefroidissement	19
5.4.1.1.	<i>Complément par un système à air</i>	19
5.4.1.2.	<i>Complément par un système sec</i>	20
5.4.1.3.	<i>Complément par un système mixte</i>	21
5.4.2.	Centrale assurant seule la climatisation	22

5.4.3.	Centrale assurant seule la climatisation et le contrôle de l'humidité	23
5.5.	Centrale à débit variable	24
6.	Mode chauffage.....	25
6.1.	Centrale simple flux.....	25
6.2.	Centrale double flux sans recyclage	25
6.2.1.	Pas d'humidification.....	25
6.2.2.	Humidification avec laveur.....	26
6.2.3.	Humidification avec laveur et préchauffage.....	27
6.2.4.	Humidification avec vapeur.....	28
6.3.	Centrale double flux avec recyclage	29
6.3.1.	Pas d'humidification.....	29
6.3.2.	Humidification avec laveur.....	30
6.3.3.	Humidification avec laveur et préchauffage.....	31
6.3.4.	Humidification avec vapeur.....	32
7.	Mode déshumidification.....	33
7.1.	Déshumidification et réchauffage terminal	33
7.2.	Déshumidification et réchauffage par batterie	34
7.3.	Déshumidification de type PMP.....	35
7.4.	Déshumidification avec récupérateur de chaleur de type PWT	36
8.	Les calculs.....	37
8.1.	Les fonctions de base.....	37
8.1.1.	Pression atmosphérique – correction en fonction de l'altitude.....	37
8.1.2.	Pression de vapeur saturante à la température T.....	37
8.1.3.	Dérivée de la fonction donnant la pression de vapeur saturante	38
8.1.4.	Poids d'eau à saturation pour une température T.....	38
8.1.5.	Dérivée de la fonction donnant le poids d'eau à saturation.....	38
8.1.6.	Hygrométrie relative en fonction de la température et du poids d'eau	38
8.1.7.	Poids d'eau en fonction de la température et de l'hygrométrie relative	39
8.1.8.	Enthalpie en fonction de la température et du poids d'eau	39
8.1.9.	Température en fonction de l'enthalpie et du poids d'eau	39
8.1.10.	Poids d'eau en fonction de l'enthalpie et de la température.....	40
8.1.11.	Parts sensible et latente de l'enthalpie	40
8.1.12.	Calcul de la température humide.....	40
8.1.13.	Temp. sèche à partir de la temp. hum. et du poids d'eau	42
8.1.14.	Poids d'eau à partir de la temp. humide et de la température sèche	42
8.1.15.	Calcul de la température de rosée pour un poids d'eau donné	42
8.1.16.	Ttempérature pour une hum. relative et un poids d'eau donnés	43
8.1.17.	Vol. spécifique de l'air en fonction de la température et du poids d'eau	43
8.1.18.	Poids d'eau en fonction du volume spécifique de l'air et de la temp.....	44
8.1.19.	Température en fonction du volume spécifique et de l'hygrométrie.....	44
8.1.20.	Température en fonction du volume spécifique à saturation.....	44
8.1.21.	Température en fonction du volume spécifique et du poids d'eau	45

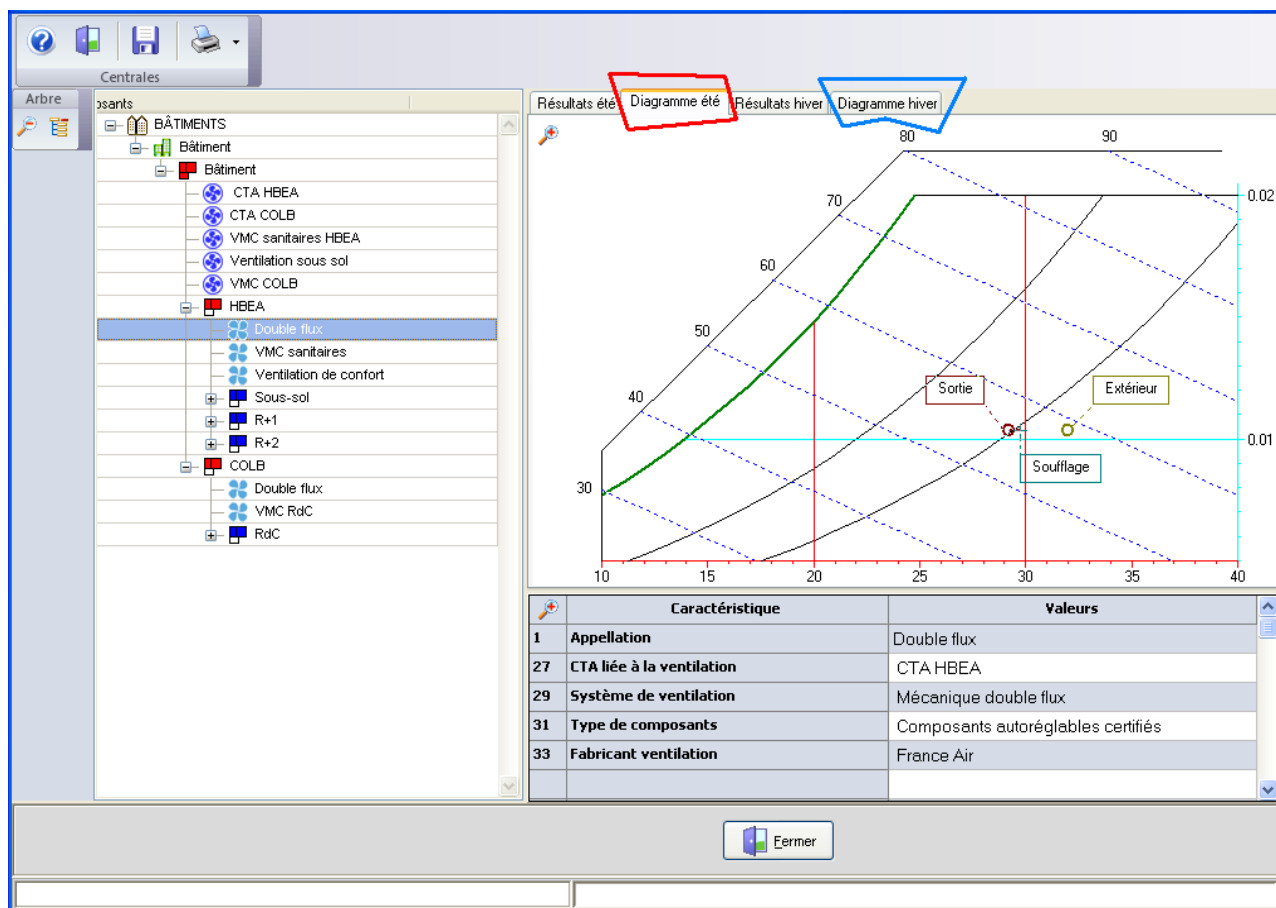
8.1.22.	Enthalpie à la pression de saturation	46
8.1.23.	Température en fonction de l'enthalpie à saturation.....	46
8.1.24.	Temp. au pt d'inters. d'une droite d'évol. et de la courbe de saturation	47
8.1.25.	Poids d'eau en fonction de la température et de l'enthalpie.....	48
8.2.	Les calculs spécifiques	48
8.2.1.	Évolution.....	48
8.2.1.1.	<i>Évolution simple</i>	48
8.2.1.2.	<i>Évolution après mélange</i>	48
8.2.2.	Mode refroidissement sans déshumidification	49
8.2.2.1.	<i>Débits et hygrométrie</i>	49
8.2.2.1.1.	<i>Pas de complément ou complément par un système sec</i>	49
8.2.2.1.2.	<i>Complément par un système à air</i>	50
8.2.2.1.3.	<i>Complément par un système sec</i>	51
8.2.2.2.	<i>Détermination de la centrale</i>	51
8.2.3.	Mode refroidissement avec déshumidification.....	51
8.2.4.	Déshumidification par chauffage terminal ou batterie.....	52
8.2.5.	Déshumidification avec récupérateur de chaleur de type PWT	52
8.2.6.	Déshumidification avec récupérateur de chaleur de type PMP	52
8.2.7.	Le calcul en chaud	53
8.2.7.1.	<i>Le calcul sans humidification ou avec laveur</i>	53
8.2.7.2.	<i>Humidification avec vapeur</i>	53
9.	Questions et réponses.....	54

1. Utilisation du module

Pour accéder au diagramme de l'air humide, utilisez l'option *Équipements* du menu d'accueil :



















Le diagramme de l'air humide est également accessible lors de l'étude d'une centrale de traitement d'air :




Notez que dans ce cas le bouton *Zoom* ne vous propulsera vers le diagramme de l'air humide que si l'onglet actif est *Diagramme été* ou *Diagramme hiver*. Dans le cas contraire, c'est le détail des calculs qui sera affiché.

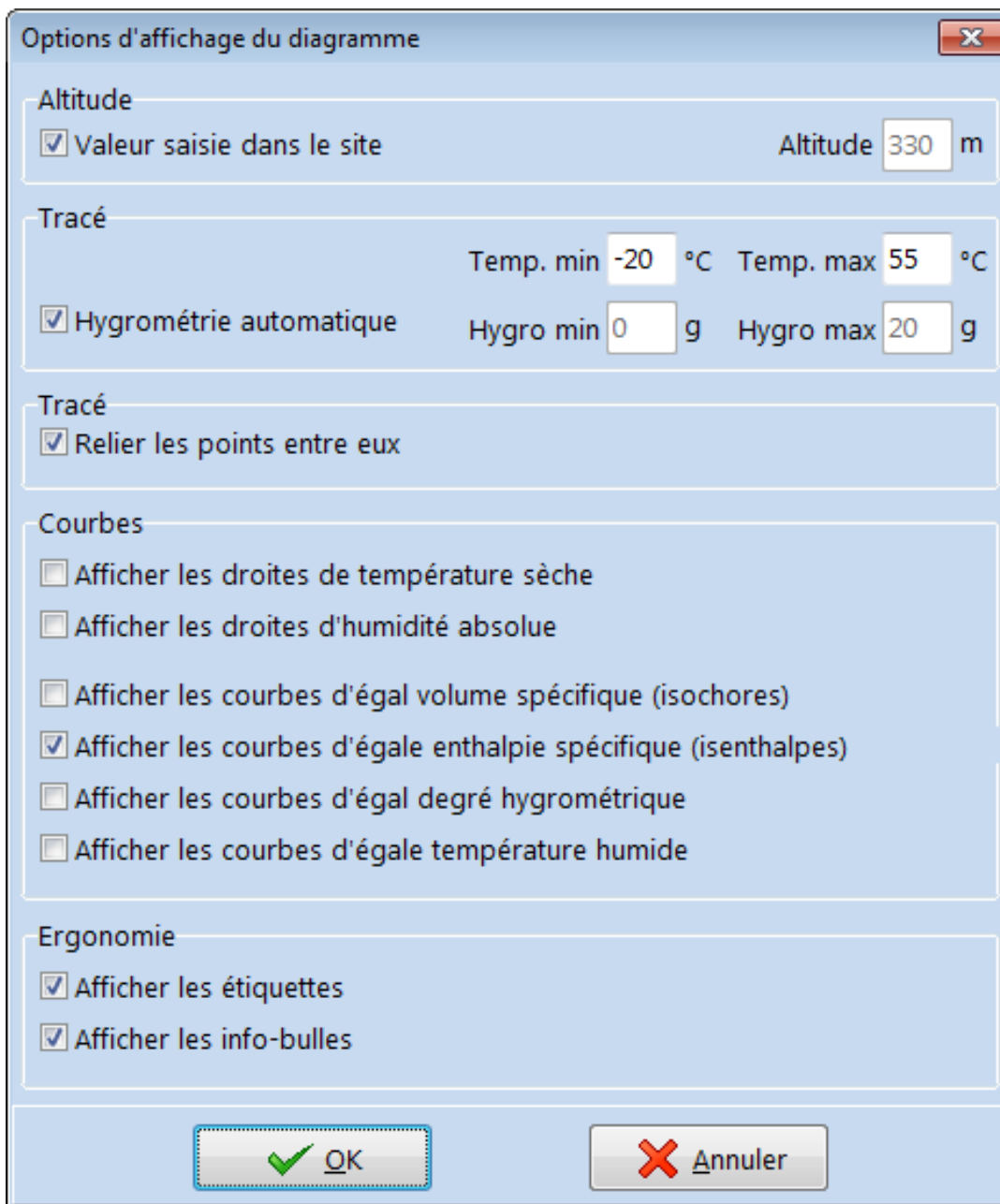
Vous obtenez à l'écran le diagramme de l'air humide à l'altitude du site. Voici l'aspect du diagramme après une saisie simple :

2. Les boutons de la barre d'icônes

Bouton	Fonction
	Accès au système d'aide
	Sortie
	Rappel d'une centrale
	Enregistrement de la centrale
	Nouvelle centrale
	Suppression de la centrale courante
	Impression des diagrammes
	Choix des options d'affichage
	Choix des couleurs
	Zoom : rapprochement
	Zoom : éloignement
	Retour au diagramme par défaut
	Rafraîchissement de l'écran
	Saisie manuelle
	Saisie du point intérieur
	Saisie du point de soufflage

2.1. Les options d'affichage

Le bouton  permet de personnaliser les diagrammes :



Options d'affichage du diagramme

Altitude

☒ Valeur saisie dans le site Altitude m

Tracé

Temp. min °C Temp. max °C

☒ Hygrométrie automatique Hygro min g Hygro max g

Tracé

☒ Relier les points entre eux

Courbes

☐ Afficher les droites de température sèche

☐ Afficher les droites d'humidité absolue

☐ Afficher les courbes d'égal volume spécifique (isochores)

☒ Afficher les courbes d'égale enthalpie spécifique (isenthalpes)

☐ Afficher les courbes d'égal degré hygrométrique


☐ Afficher les courbes d'égale température humide

Ergonomie

☒ Afficher les étiquettes

☒ Afficher les info-bulles

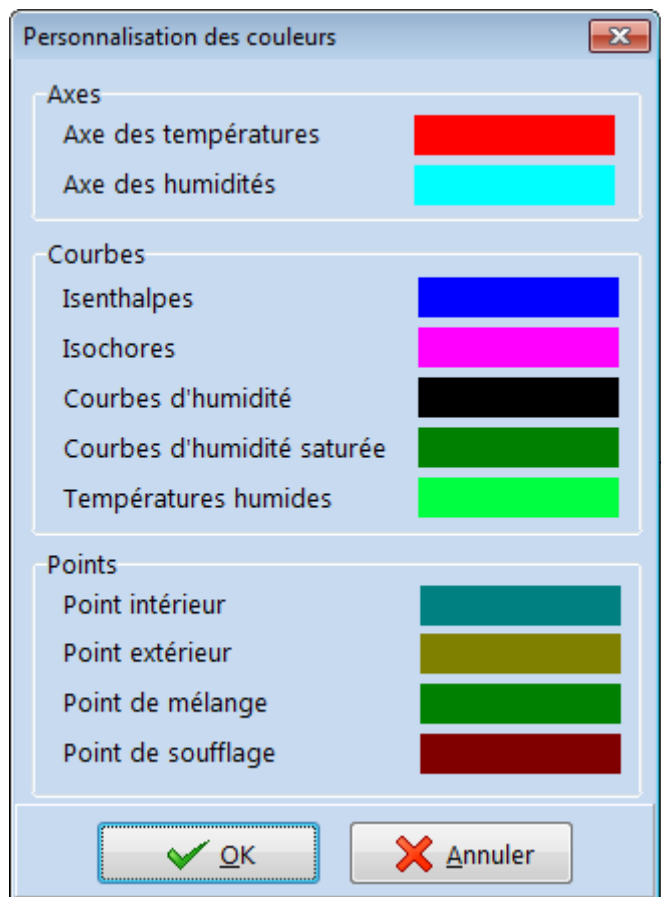
Les diagrammes tiennent compte de l'altitude, dont l'effet n'est d'ailleurs pas négligeable, et c'est ici que vous pouvez agir sur ce paramètre, en désactivant la case à cocher *Valeur saisie dans le site*. Vous fixez ensuite les limites des diagrammes, aussi bien en température qu'en hygrométrie (pour fixer les limites de l'hygrométrie vous devez au préalable désactiver le bouton *Hygrométrie automatique*). Si ultérieurement

vous souhaitez revenir aux diagrammes classiques, vous utiliserez le bouton  de la barre d'icônes.

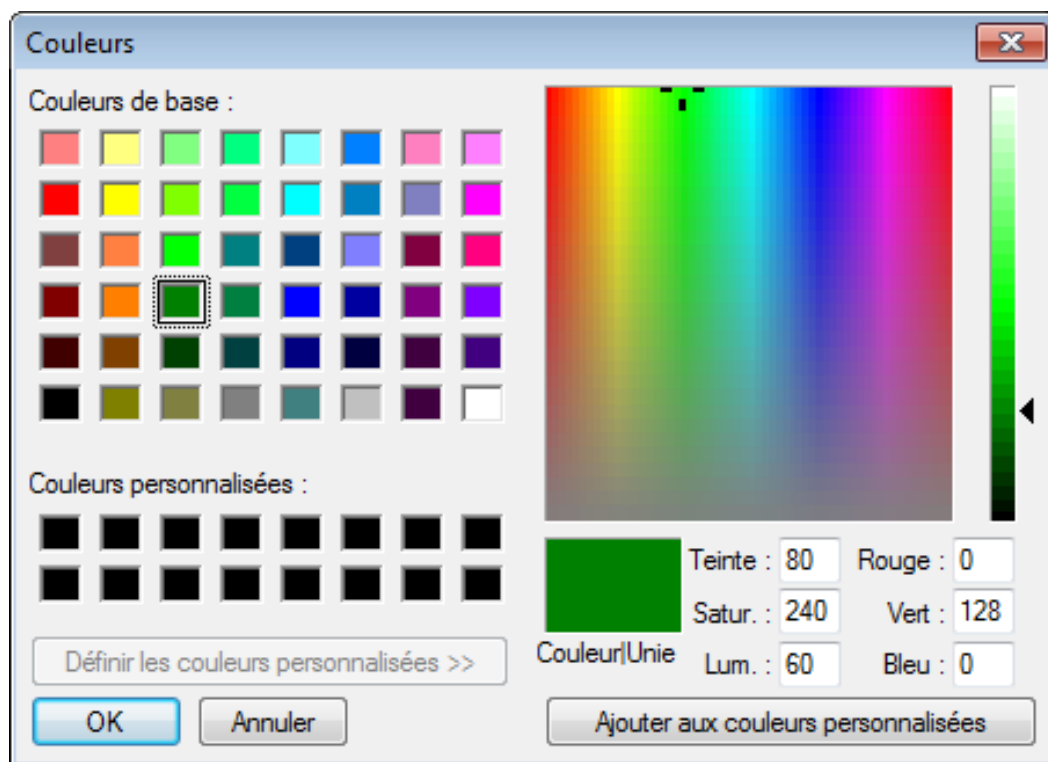
Vous pouvez ensuite choisir les courbes à afficher. Remarquez en bas de la fenêtre la possibilité d'activer ou de neutraliser les infobulles.

2.2. Le choix des couleurs

C'est le bouton  qui donne accès à la fenêtre de choix des couleurs :



En cliquant sur la zone colorée qui fait face à un élément, vous ouvrez la fenêtre suivante, qui vous permet de choisir une nouvelle couleur :





En même temps que la couleur du point, la couleur de la droite qui lui est associée sera modifiée.

2.3. Comment placer ou déplacer un point

Pour placer ou déplacer un premier point (le point intérieur), il suffit de promener la souris sur le diagramme et de cliquer là où vous souhaitez placer le point. Vous placez ainsi les points à la queue leu leu, toujours par de simples clics gauches.

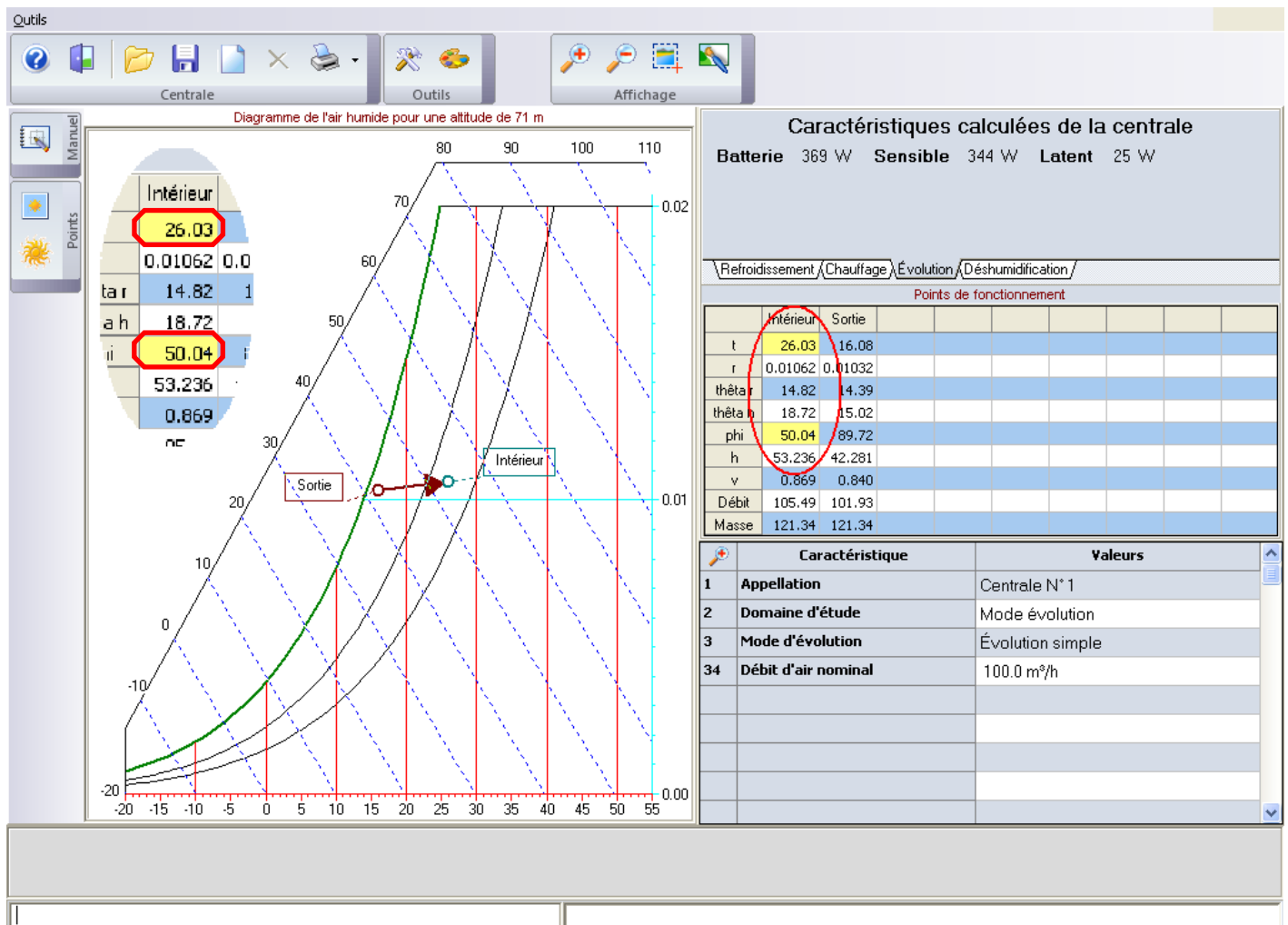
Pour modifier à la souris l'emplacement d'un point, vous disposez de deux possibilités :


 Cliquer sur le point avec le bouton gauche puis par *drag and drop*, c'est-à-dire sans relâcher la pression, amener le point à l'emplacement correct.

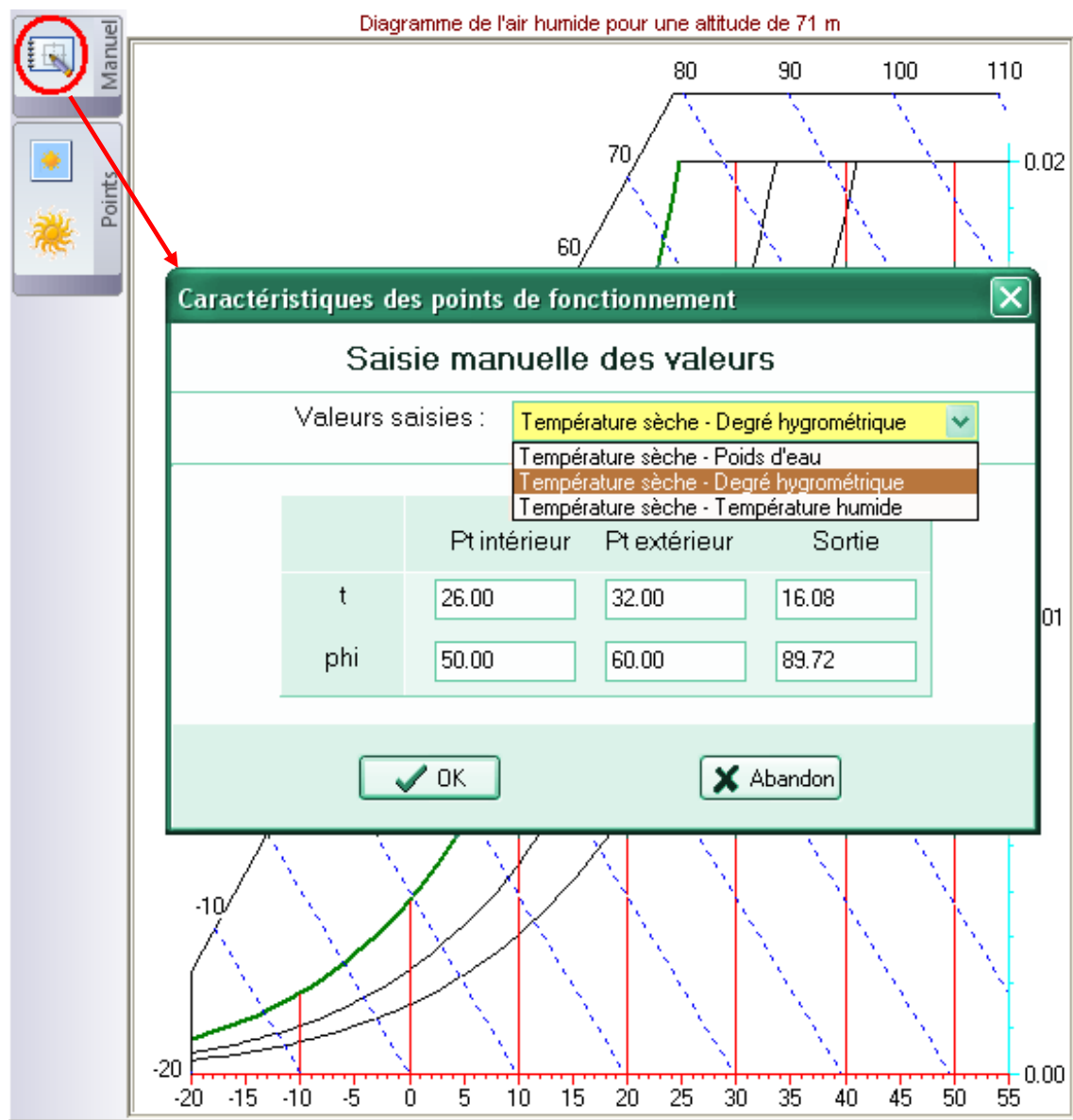
 Cliquer sur le bouton droit, relâcher la pression (ce n'est pas un *drag and drop*), amener le point à l'emplacement choisi et cliquer sur le bouton gauche.

2.4. La saisie manuelle des points

Il est possible que vous ne parveniez pas à placer **précisément** un point à l'emplacement souhaité. Par exemple, essayons de fixer un point intérieur à 26°C et 50% d'hygrométrie. Nous constatons très vite que cet objectif ambitieux ne peut être exactement atteint avec le seul secours de la souris :




Vous aurez donc souvent recours au bouton  , qui permet de saisir manuellement les coordonnées d'un point de fonctionnement :

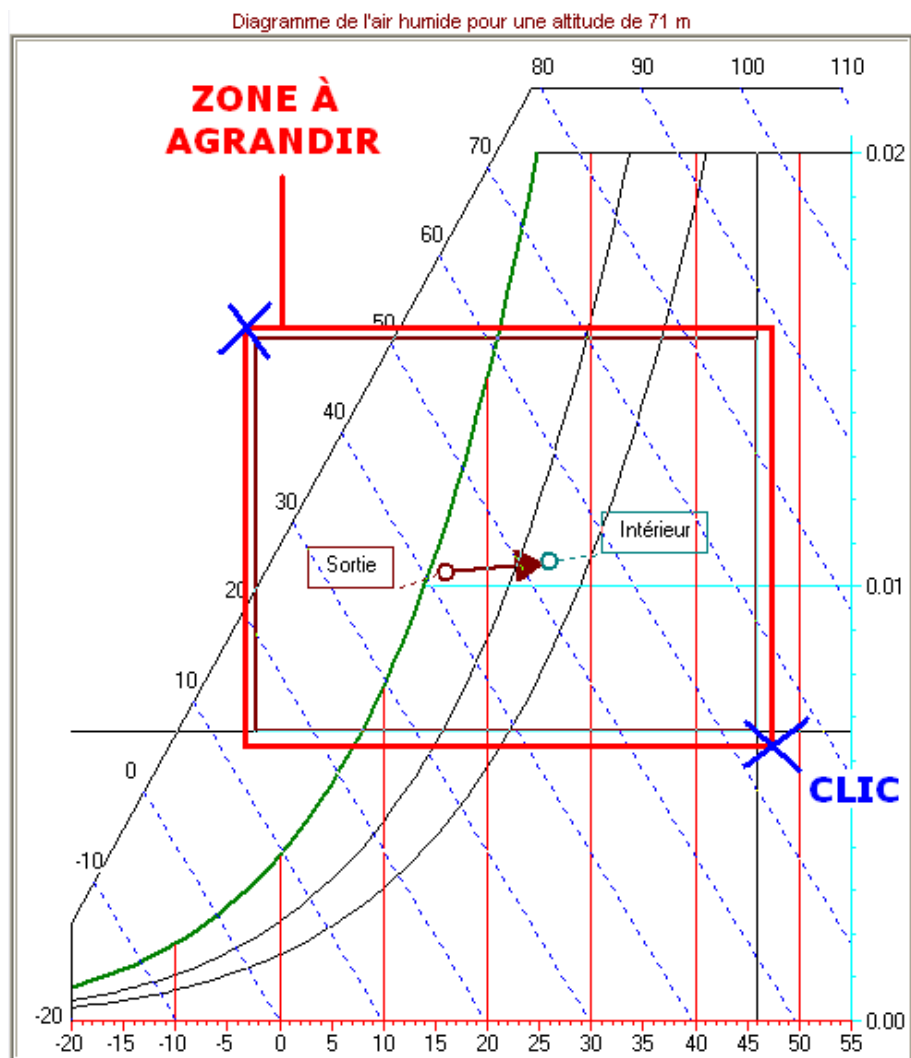



Le menu déroulant permet de choisir le mode de saisie de l'hygrométrie : poids d'eau en kg/kg d'air sec, degré hygrométrique en %, ou saisie par l'intermédiaire de la température humide.

Les points saisis de cette manière peuvent ensuite être déplacés sur le diagramme tout aussi bien que les points saisis à la souris.


2.5. Le zoom

Pour agrandir une partie de l'écran, commencez par cliquer sur le bouton  puis positionnez-vous sur le diagramme, à l'angle de la partie que vous voulez agrandir. Cliquez, puis allez vous positionner (en relâchant la pression sur le bouton, ce n'est pas un *drag and drop*) sur le coin opposé du rectangle à agrandir et cliquez de nouveau :



Vous pourrez à tout moment revenir à l'affichage initial en utilisant le bouton  .

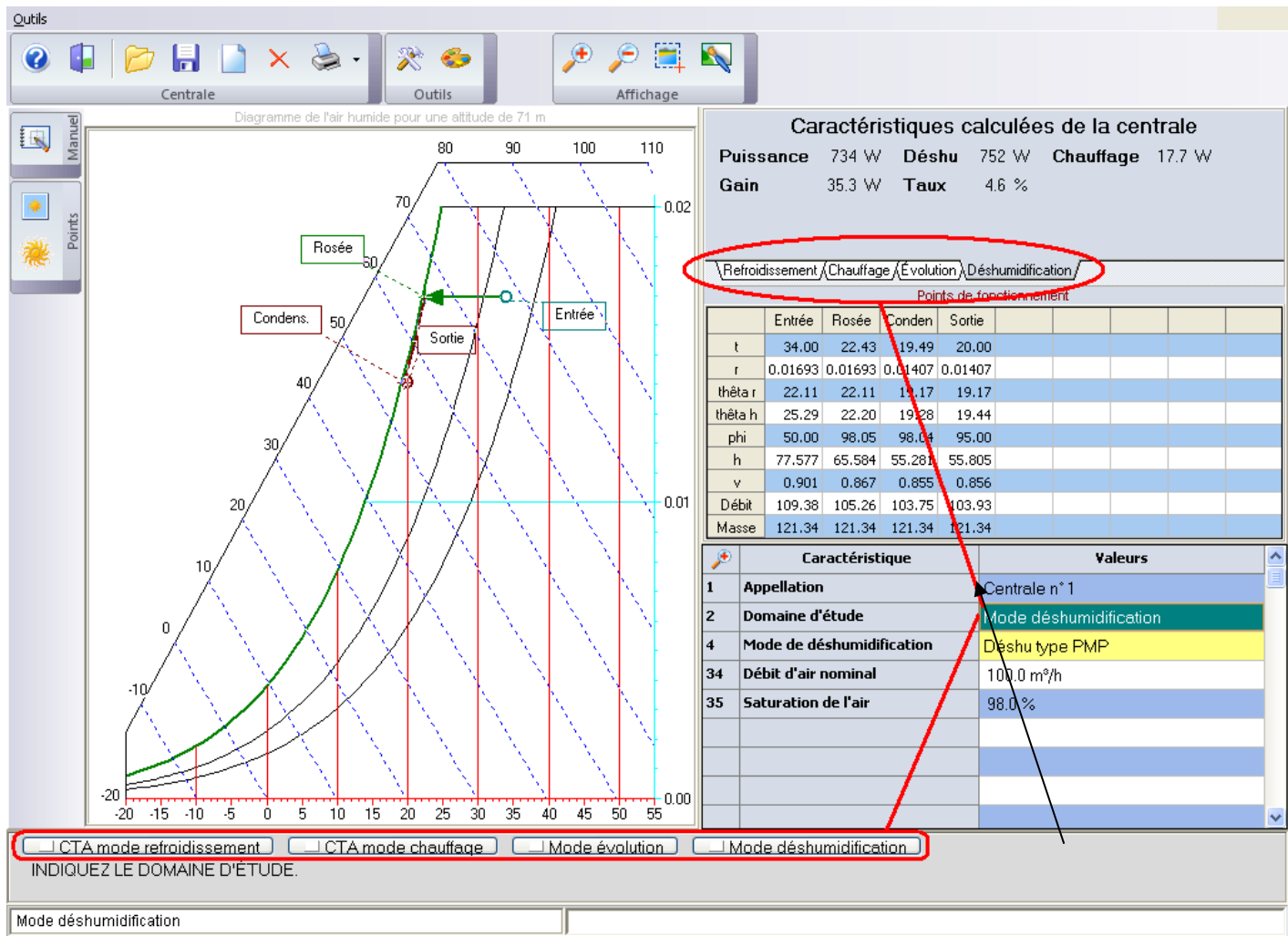
2.6. Les impressions

L'impression de la centrale en cours est obtenue au moyen du bouton  prévu à cet effet. Il y a juste une petite restriction par rapport aux autres impressions de ClimaWin : vous ne pouvez pas obtenir une sortie au format RTF.





3. Création et rappel d'une centrale

Le module de diagramme de l'air humide permet de travailler dans quatre contextes différents : droite d'évolution, chauffage, climatisation et déshumidification. Nous avons essayé de traiter tous les cas prévus par la RT 2005.

En fait, l'unité de travail est la centrale et à chaque centrale vous pouvez associer une étude d'évolution, une étude de chauffage, une étude de climatisation et une étude de déshumidification. Le choix du diagramme à afficher (pour une même centrale) est effectué par l'intermédiaire de la barre d'onglets ou du tableur en mode texte :

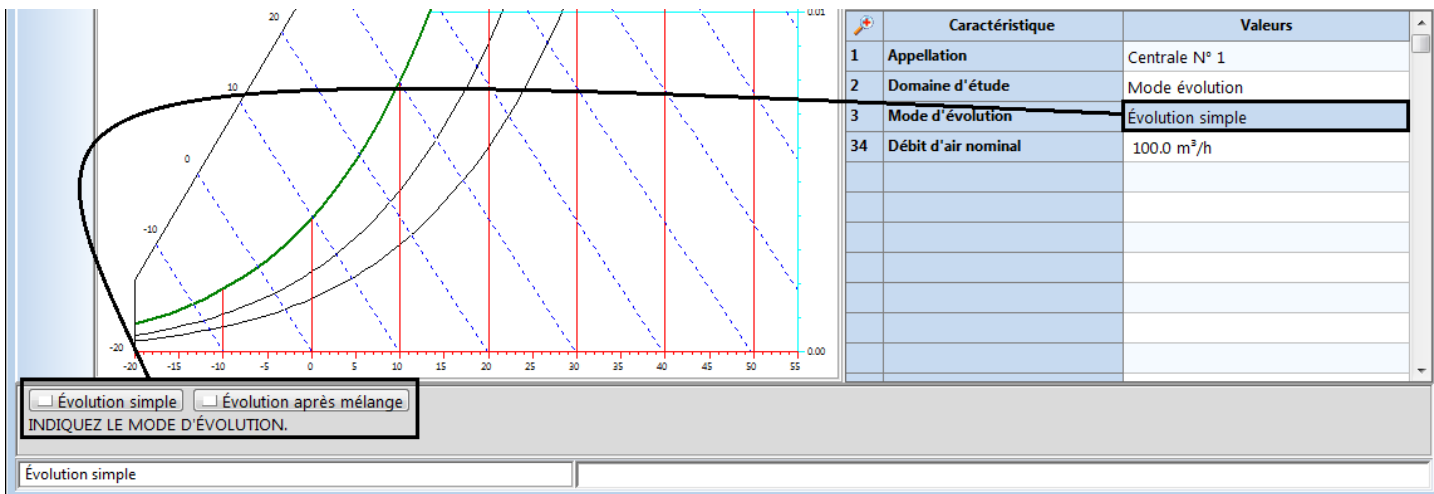


Une fois le domaine de travail choisi, il vous faut encore sélectionner le sous-domaine. Dans le schéma ci-dessus, par exemple, nous aurons affaire à une déshumidification de type PMP. De la même façon, pour un calcul en mode chauffage ou climatisation, il vous faudra choisir le type de CTA : simple flux, double flux, débit d'air constant (DAC), débit d'air variable (DAV).

Pour gérer les différentes centrales, vous utiliserez les boutons de la barre d'icônes : nouvelle centrale  , rappel d'une centrale  et enregistrement de la centrale en cours  . Notez bien également que le bouton  supprime la totalité de la centrale courante (et pas seulement la partie de l'étude sur laquelle vous êtes positionné : dans l'exemple ci-dessus, ce n'est pas seulement le diagramme de déshumidification qui sera supprimé, mais aussi les diagrammes d'évolution, de chauffage et de climatisation que vous avez pu étudier dans le cadre de la même centrale).

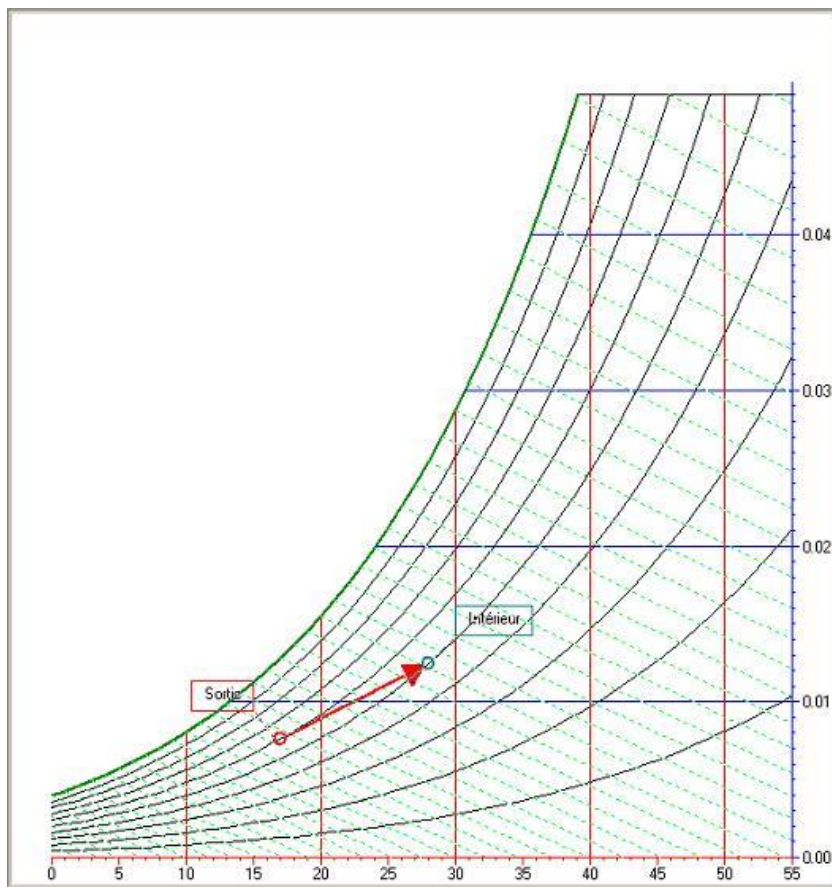
4. Évolution

Vous pouvez traiter deux cas différents : l'évolution simple et l'évolution après mélange. Le choix est fait dans le tableur en mode texte :



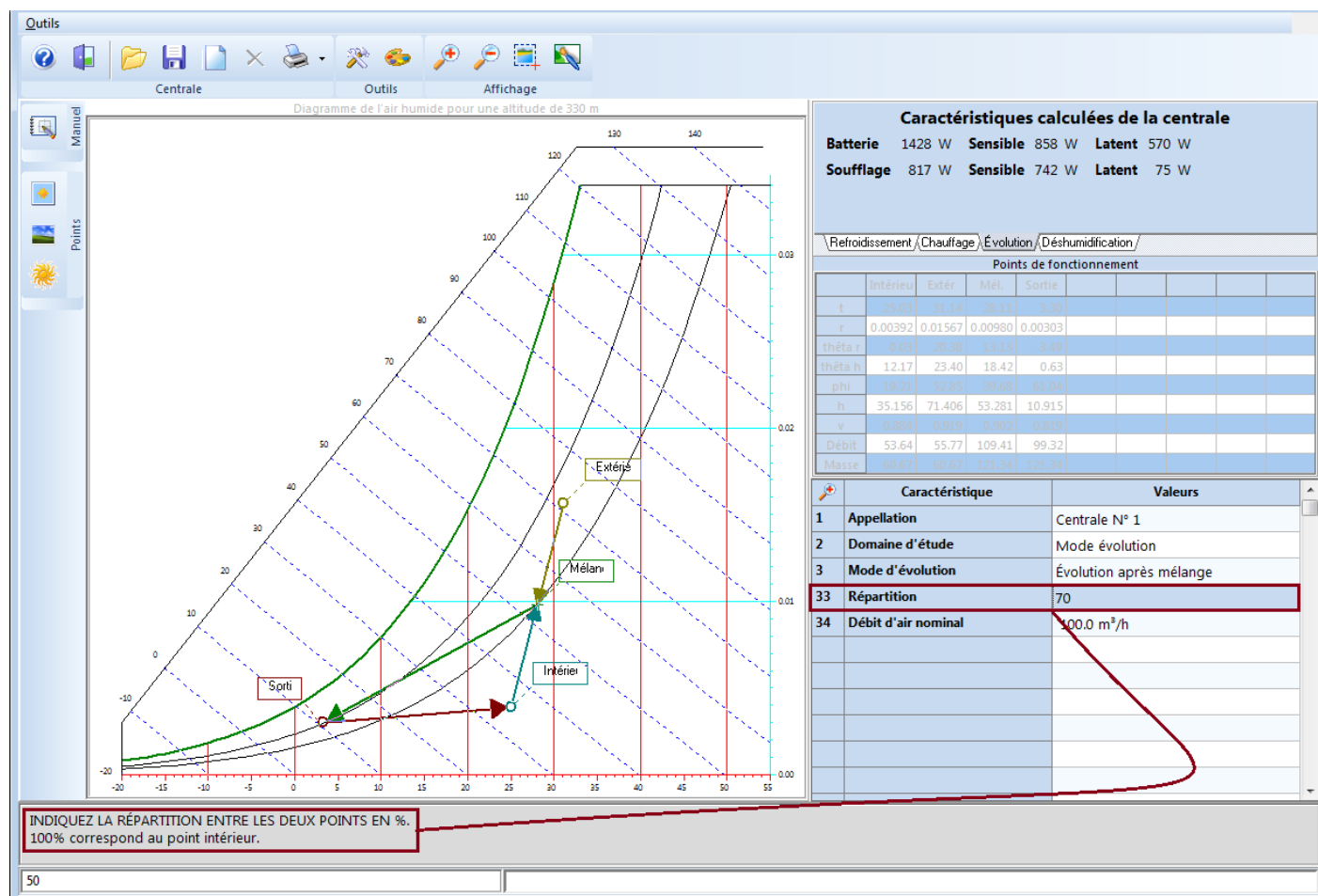
4.1. Évolution simple

C'est simplement la droite d'évolution entre deux points. Il n'y a naturellement aucune difficulté. Si vous utilisez cette fonction pour tester le comportement du module par rapport à un diagramme papier, n'oubliez pas que ClimaWin tient compte de l'altitude.



4.2. Évolution après mélange

Ici on considère un mélange entre de l'air extérieur et de l'air repris. Vous saisissez le point intérieur, le point extérieur et le point de sortie. Le logiciel calcule les caractéristiques du mélange.



L'élément important est le pourcentage d'air intérieur entrant dans le mélange. Ici vous avez saisi une valeur de 70. En appelant A le point intérieur, B le point extérieur et C le point de mélange, cela revient à écrire que $CB = 0.7AB$.

5. Mode refroidissement

Dans les exemples supportant toute cette partie, les échauffements non contrôlés dans les gaines ont généralement été fixés à 2 °C, de façon à obtenir une meilleure lisibilité. Il est bien entendu qu'habituellement les valeurs réelles sont plutôt de l'ordre de 0.5 °C.

5.1. Centrale simple flux

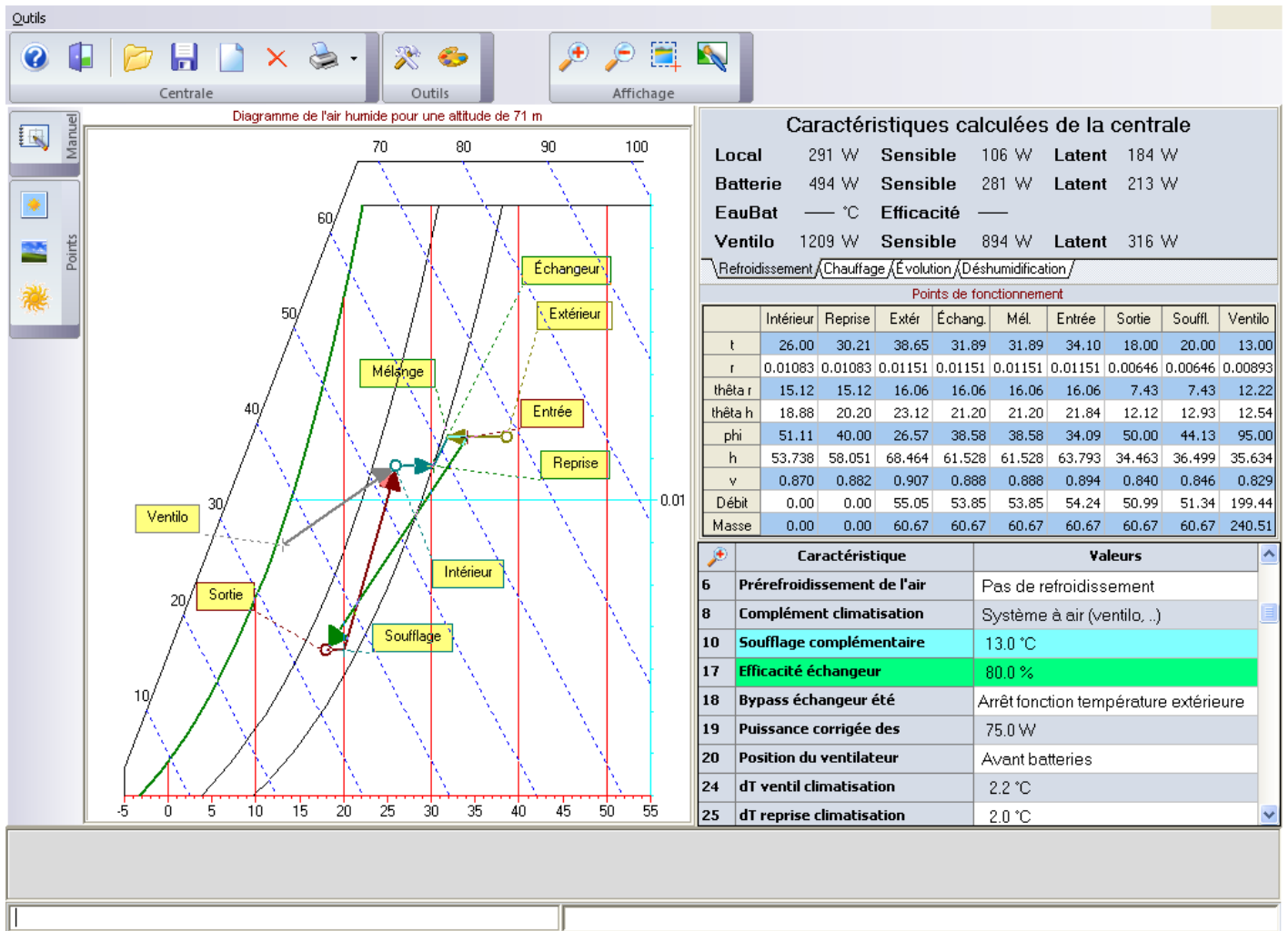
Dans ce cas la centrale peut être calculée mais le diagramme en lui-même n'existe pas.

5.2. Centrale double flux sans recyclage

L'air extrait est amené à l'échangeur et contribue (sans mélange) au refroidissement de l'air extérieur. Indépendamment de la centrale, un ventilo-convecteur, un système sec ou un système mixte assure le complément.

Dans tous les cas, vous fixez sur le diagramme la température intérieure, le point extérieur et le point de sortie de la centrale. L'hygrométrie intérieure n'est pas contrôlée et elle est donc déterminée par le logiciel. Si pour une raison ou une autre vous souhaitez arriver à une hygrométrie intérieure précise, vous devez modifier le point de sortie en conséquence.

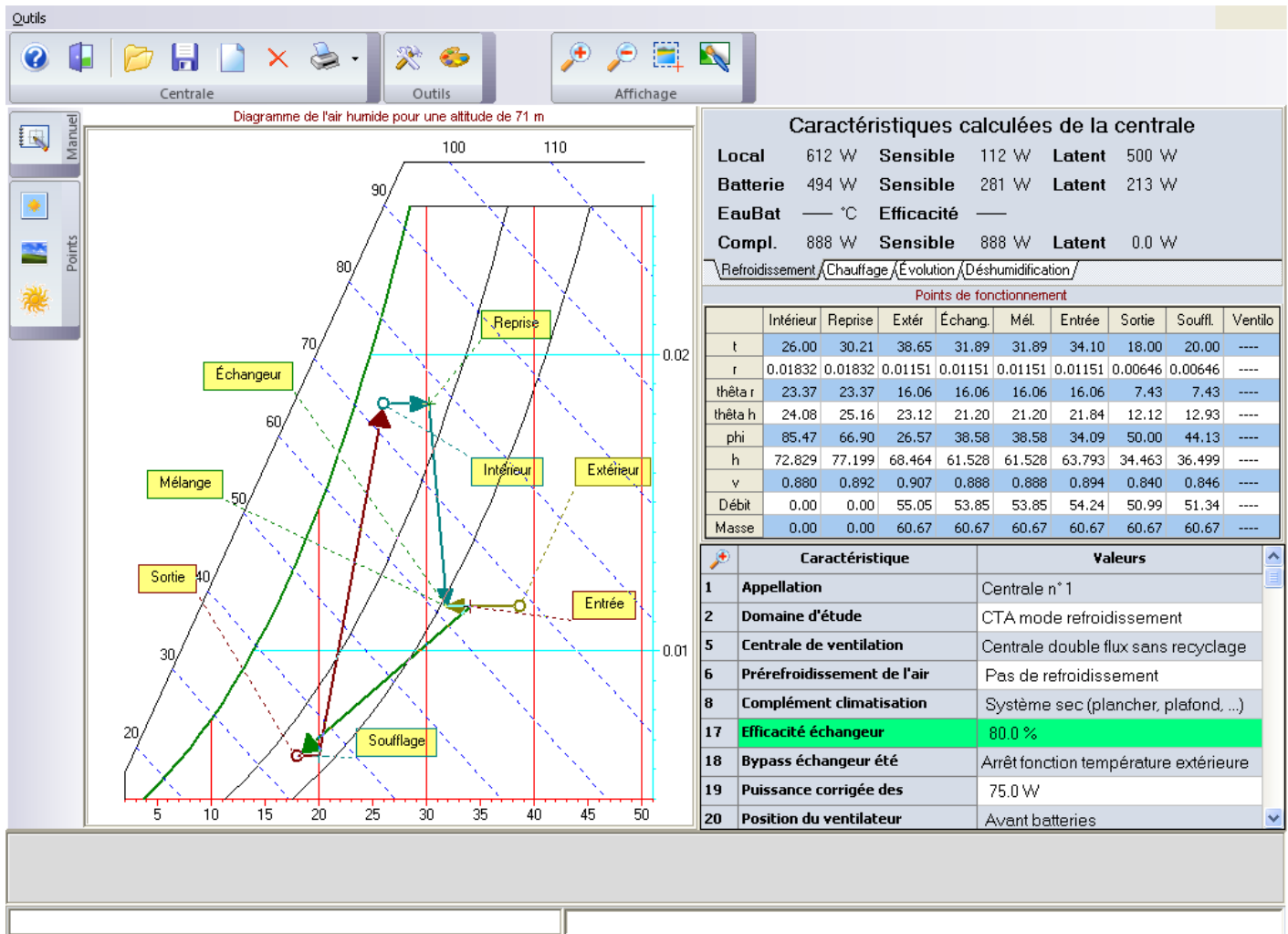
5.3. Complément par un système à air



L'air extrait est amené à l'échangeur et contribue (sans mélange) au refroidissement de l'air extérieur. Indépendamment de la centrale, un ventilo-convecteur assure le complément.

Vous fixez sur le diagramme la température intérieure, le point extérieur et le point de sortie de la centrale. Par contre, le point de fonctionnement du ventilo-convecteur ainsi que l'efficacité de l'échangeur sont choisis au sein du tableur. S'il n'y a pas d'échangeur, choisissez une efficacité de 0 et le point correspondant disparaîtra du diagramme, ce qui sera également le cas si vous indiquez la présence d'un bypass pour l'été.

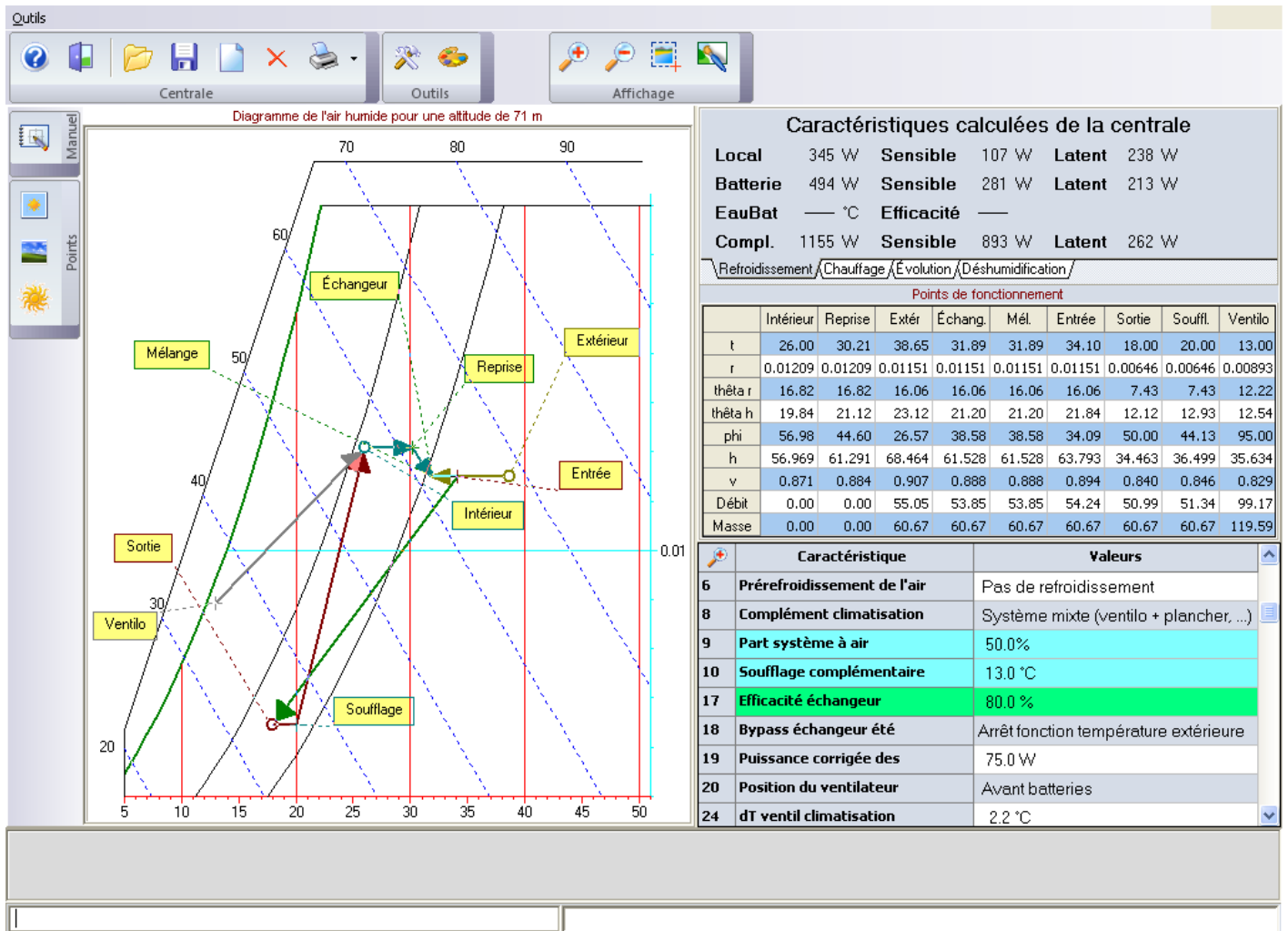
5.3.1. Complément par un système sec



L'air extrait est amené à l'échangeur et contribue (sans mélange) au refroidissement de l'air extérieur. Indépendamment de la centrale, un système sec (qui n'intervient donc pas dans le cadre où nous nous plaçons) assure le complément.

Vous fixez sur le diagramme la température intérieure, le point extérieur et le point de sortie de la centrale. L'efficacité de l'échangeur est choisie au sein du tableur. S'il n'y a pas d'échangeur, indiquez une efficacité de 0 et le point correspondant disparaîtra du diagramme, ce qui sera également le cas si vous indiquez la présence d'un bypass pour l'été.

5.3.2. Complément par un système mixte



Avec ce procédé rarement rencontré, l'air extrait est amené à l'échangeur et contribue (sans mélange) au refroidissement de l'air extérieur. Indépendamment de la centrale, un ventilo-convecteur et un système sec assurent le complément. Le système sec n'apparaît pas sur le diagramme.

Vous fixez sur le diagramme la température intérieure, le point extérieur et le point de sortie de la centrale. Par contre, le point de fonctionnement du ventilo-convecteur et l'efficacité de l'échangeur sont choisis au sein du tableur. Vous indiquez également la part fournie par le système à air (rapportée à la part assurée par l'ensemble constituant le complément, système sec + ventilo-convecteur). S'il n'y a pas d'échangeur, indiquez une efficacité de 0 et le point correspondant disparaîtra du diagramme, ce qui sera également le cas si vous indiquez la présence d'un bypass pour l'été.

5.4. Centrale double flux avec recyclage

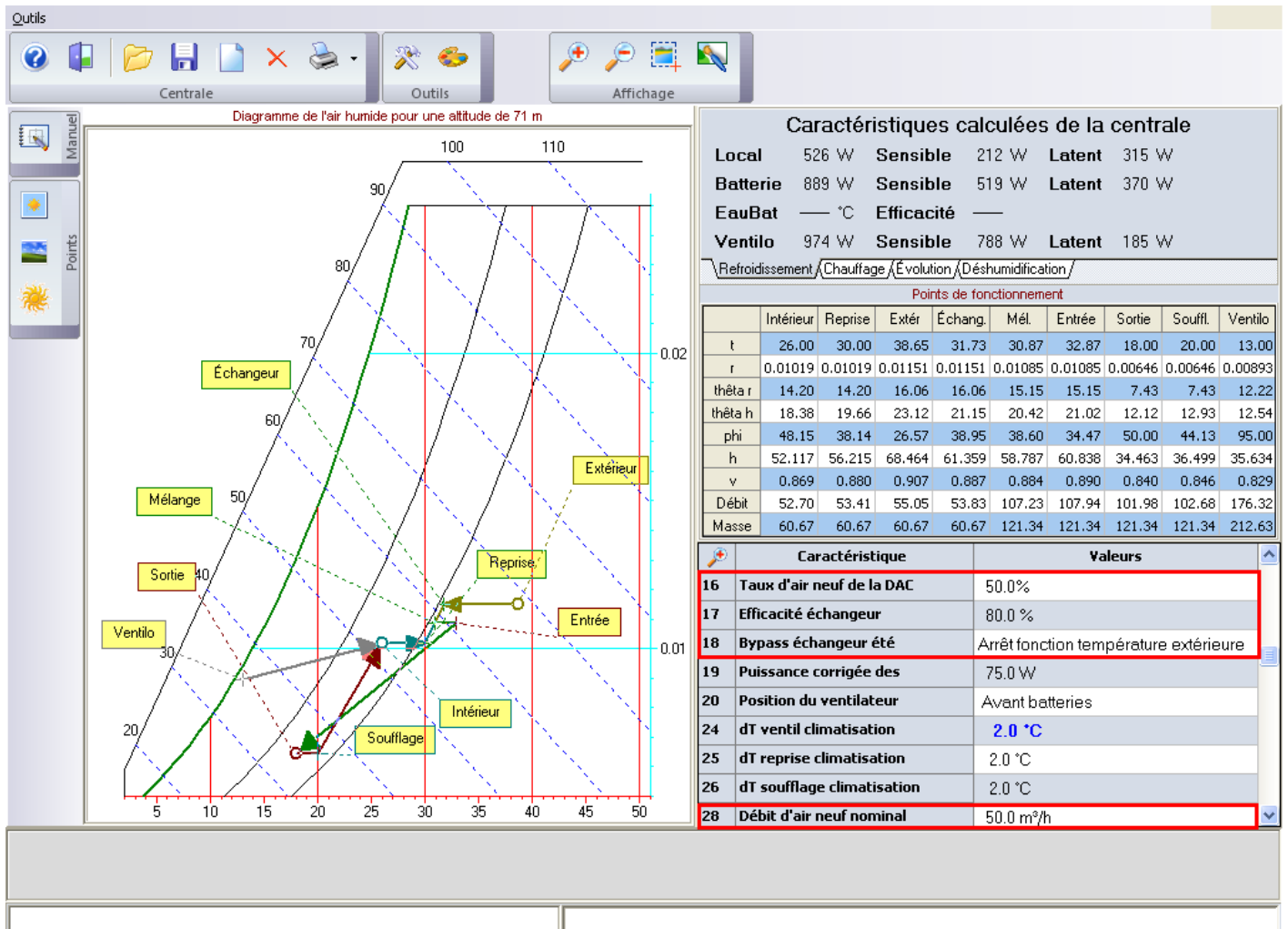
L'air extrait est recyclé et mélangé à l'air extérieur.

Dans tous les cas, vous fixez sur le diagramme la température intérieure, le point extérieur et le point de sortie de la centrale. L'hygrométrie intérieure n'est pas contrôlée et elle est donc déterminée par le logiciel. Si pour une raison ou une autre vous souhaitez arriver à une hygrométrie intérieure fixée à l'avance, vous devez modifier le point de sortie en conséquence.

5.4.1. Centrale assurant un prérefroidissement

Indépendamment de la centrale, un ventilo-convecteur, un système sec ou un système mixte assure le complément.

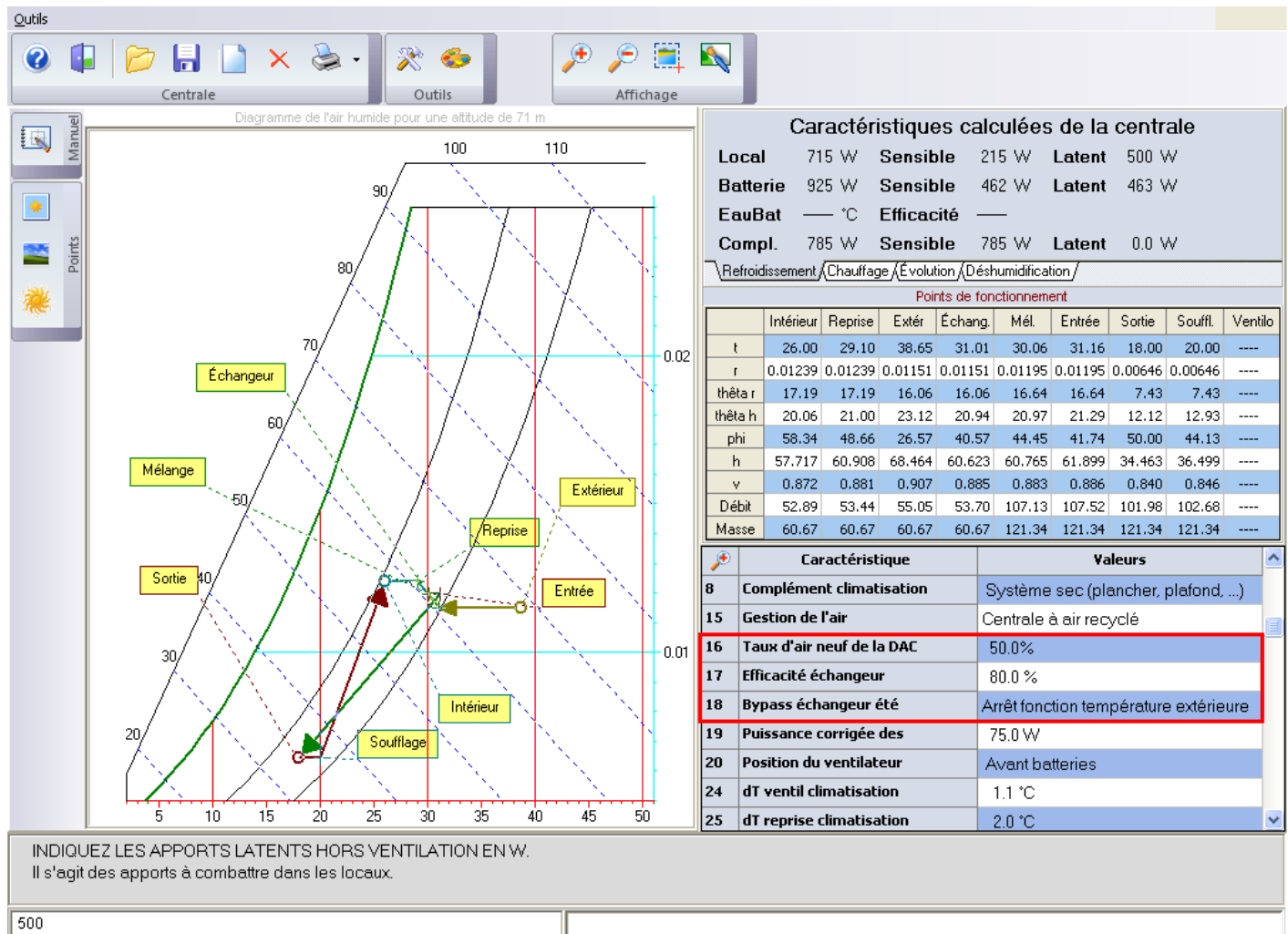
5.4.1.1. Complément par un système à air



L'air extrait est mélangé à l'air extérieur. Indépendamment de la centrale, un système sec (qui n'intervient pas dans le cadre où nous nous plaçons) assure le complément.

Vous fixez sur le diagramme la température intérieure, le point extérieur et le point de sortie de la centrale. L'efficacité de l'échangeur est choisie au sein du tableau. S'il n'y a pas d'échangeur, indiquez une efficacité de 0 et le point correspondant disparaîtra du diagramme, ce qui sera également le cas si vous indiquez la présence d'un bypass pour l'été.

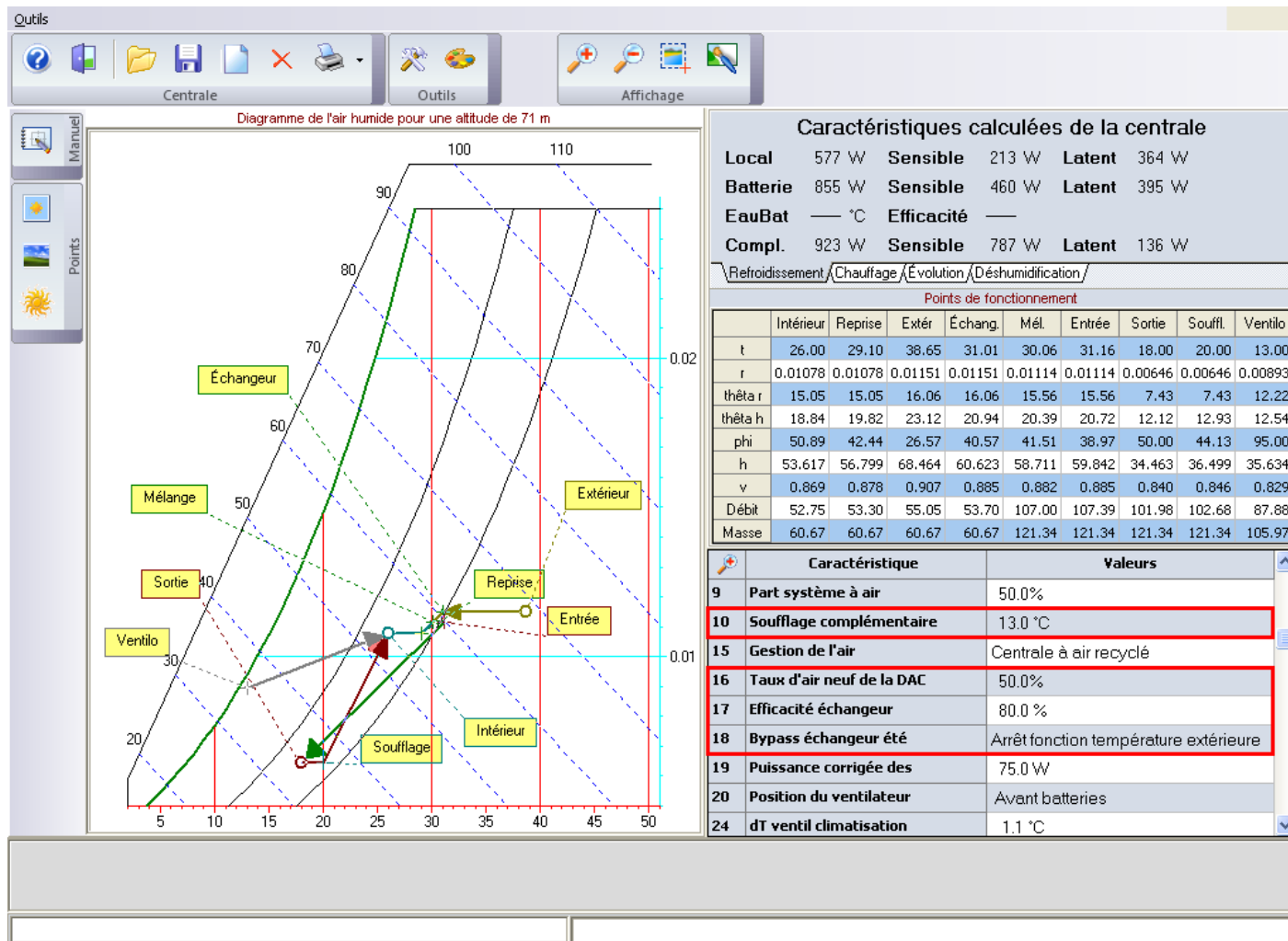
5.4.1.2. Complément par un système sec



L'air extrait est mélangé à l'air extérieur. Indépendamment de la centrale, un ventilo-convecteur assure le complément.

Vous fixez sur le diagramme la température intérieure, le point extérieur et le point de sortie de la centrale. Par contre, le point de fonctionnement du ventilo-convecteur, l'efficacité de l'échangeur et le taux d'air neuf sont choisis au sein du tableur. S'il n'y a pas d'échangeur, indiquez une efficacité de 0 et le point correspondant disparaîtra du diagramme, ce qui sera également le cas si vous indiquez la présence d'un bypass pour l'été.

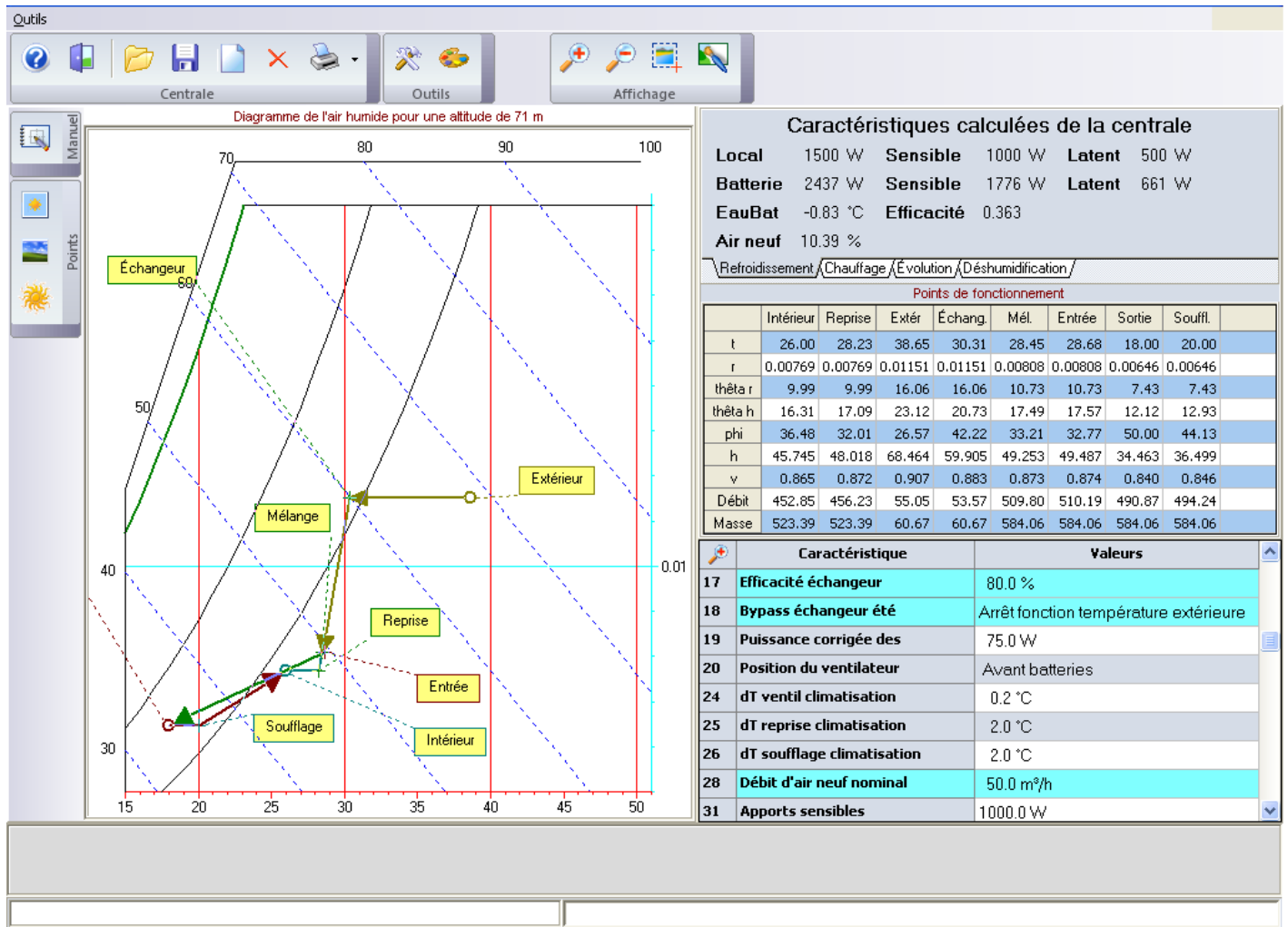
5.4.1.3. Complément par un système mixte



Avec ce système rarement rencontré, l'air extrait est mélangé à l'air extérieur. Indépendamment de la centrale, un ventilo-convecteur et un système sec assurent le complément. Le système sec n'apparaît pas sur le diagramme.

Vous fixez sur le diagramme la température intérieure, le point extérieur et le point de sortie de la centrale. Par contre, le point de fonctionnement du ventilo-convecteur et l'efficacité de l'échangeur sont choisis au sein du tableur. Vous indiquez également la part fournie par le système à air (rapportée à la part assurée par l'ensemble constituant le complément, système sec + ventilo-convecteur). S'il n'y a pas d'échangeur, indiquez une efficacité de 0 et le point correspondant disparaîtra du diagramme, ce qui sera également le cas si vous indiquez la présence d'un bypass pour l'été.

5.4.2. Centrale assurant seule la climatisation



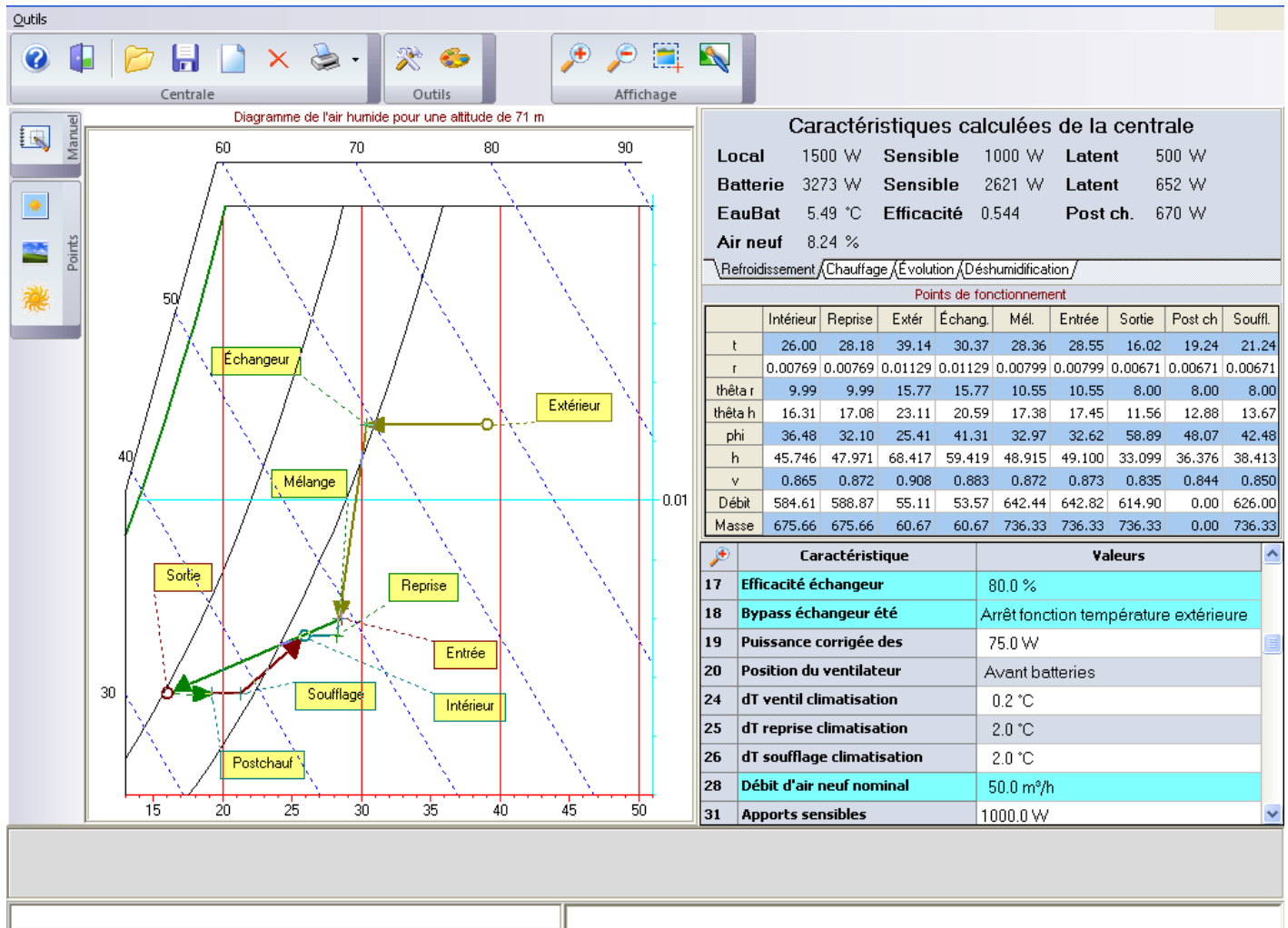
Il n'y a pas de complément. L'air extrait est mélangé à l'air extérieur.

Vous fixez sur le diagramme la température intérieure, le point extérieur et le point de sortie de la centrale. L'efficacité de l'échangeur et le débit d'air neuf sont choisis dans le tableau. S'il n'y a pas d'échangeur, indiquez une efficacité de 0 et le point correspondant disparaîtra du diagramme, ce qui sera également le cas si vous indiquez la présence d'un bypass pour l'été.

5.4.3. Centrale assurant seule la climatisation et le contrôle de l'humidité

Il n'y a pas de complément. L'air extrait est mélangé à l'air extérieur, puis amené au poids d'eau souhaité et réchauffé.

Vous fixez sur le diagramme la température intérieure, le point extérieur et le point de sortie de la centrale. L'efficacité de l'échangeur et le débit d'air neuf sont choisis dans le tableau. S'il n'y a pas d'échangeur, indiquez une efficacité de 0 et le point correspondant disparaîtra du diagramme, ce qui sera également le cas si vous indiquez la présence d'un bypass pour l'été.



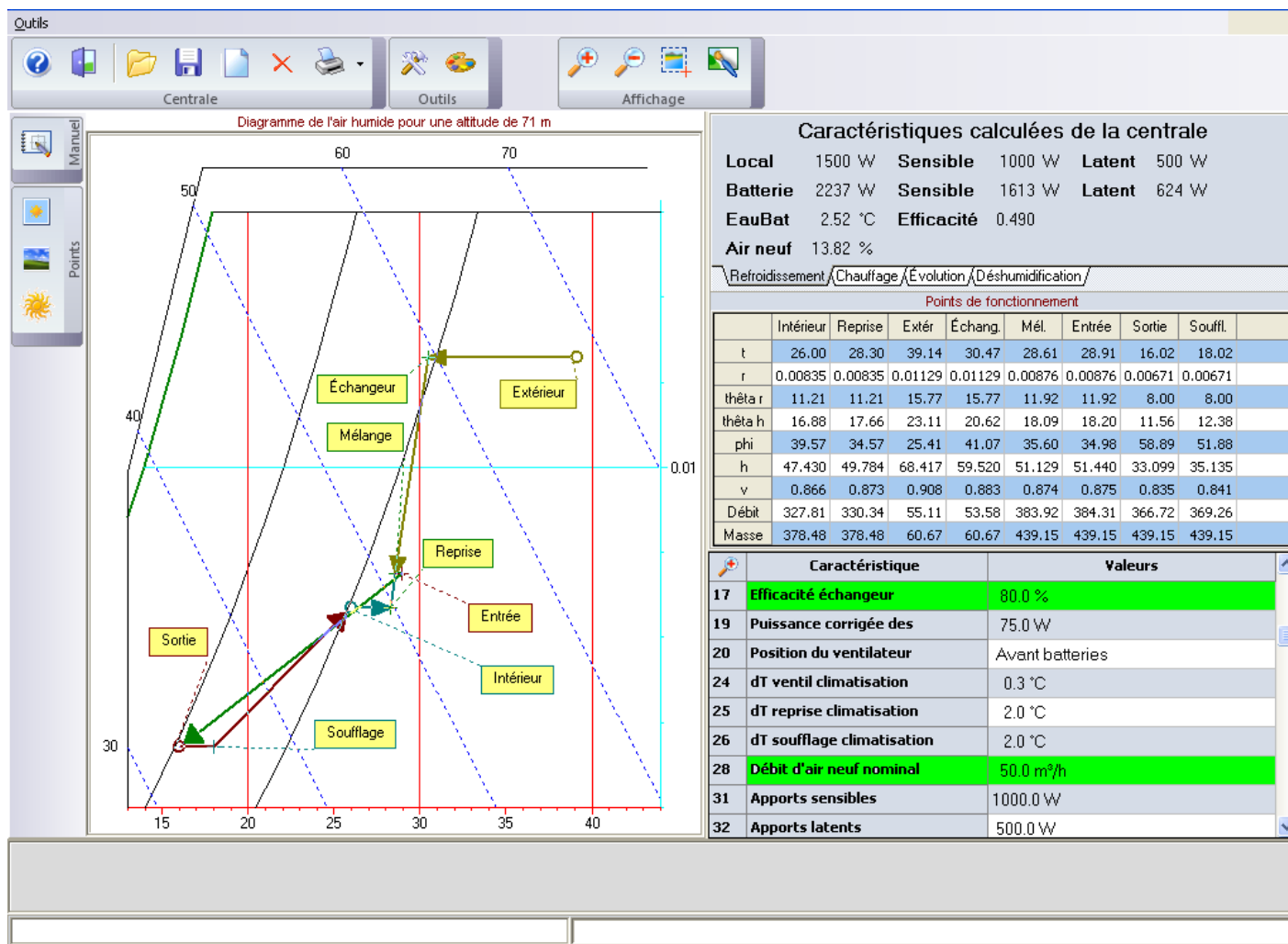
Compte tenu de la plage de fonctionnement assez mince de ce type de système, il arrive fréquemment que le calcul de la centrale ne puisse être effectué. Si vous n'arrivez pas à obtenir un tracé, placez les points comme dans l'exemple ci-dessus, puis en partant de là essayez d'obtenir la configuration souhaitée. Vous pourrez ainsi cerner le problème.

5.5. Centrale à débit variable

Une centrale à débit variable est un système où le débit d'air varie en fonction de la consigne de température.

L'air de reprise et l'air extérieur forment le mélange, qui est amené par le système au point de sortie. Vous fixez sur le diagramme les conditions extérieures, le point de sortie et la température intérieure. L'hygrométrie intérieure n'est pas contrôlée; elle est calculée par le logiciel. Si pour une raison ou une autre vous souhaitez arriver à une hygrométrie intérieure fixée à l'avance, il vous faut agir sur le point de sortie ou sur les apports latents.

L'efficacité de l'échangeur, le débit d'air neuf nominal et les apports sont saisis dans le tableau de caractéristiques. En l'absence d'échangeur indiquez simplement une efficacité de 0.



6. Mode chauffage

Dans les exemples supportant toute cette partie, les échauffements non contrôlés dans les gaines ont été généralement fixés à 2°C, de façon à obtenir une meilleure lisibilité. Il est bien entendu qu'habituellement les valeurs réelles sont plutôt de l'ordre de 0.5°C.

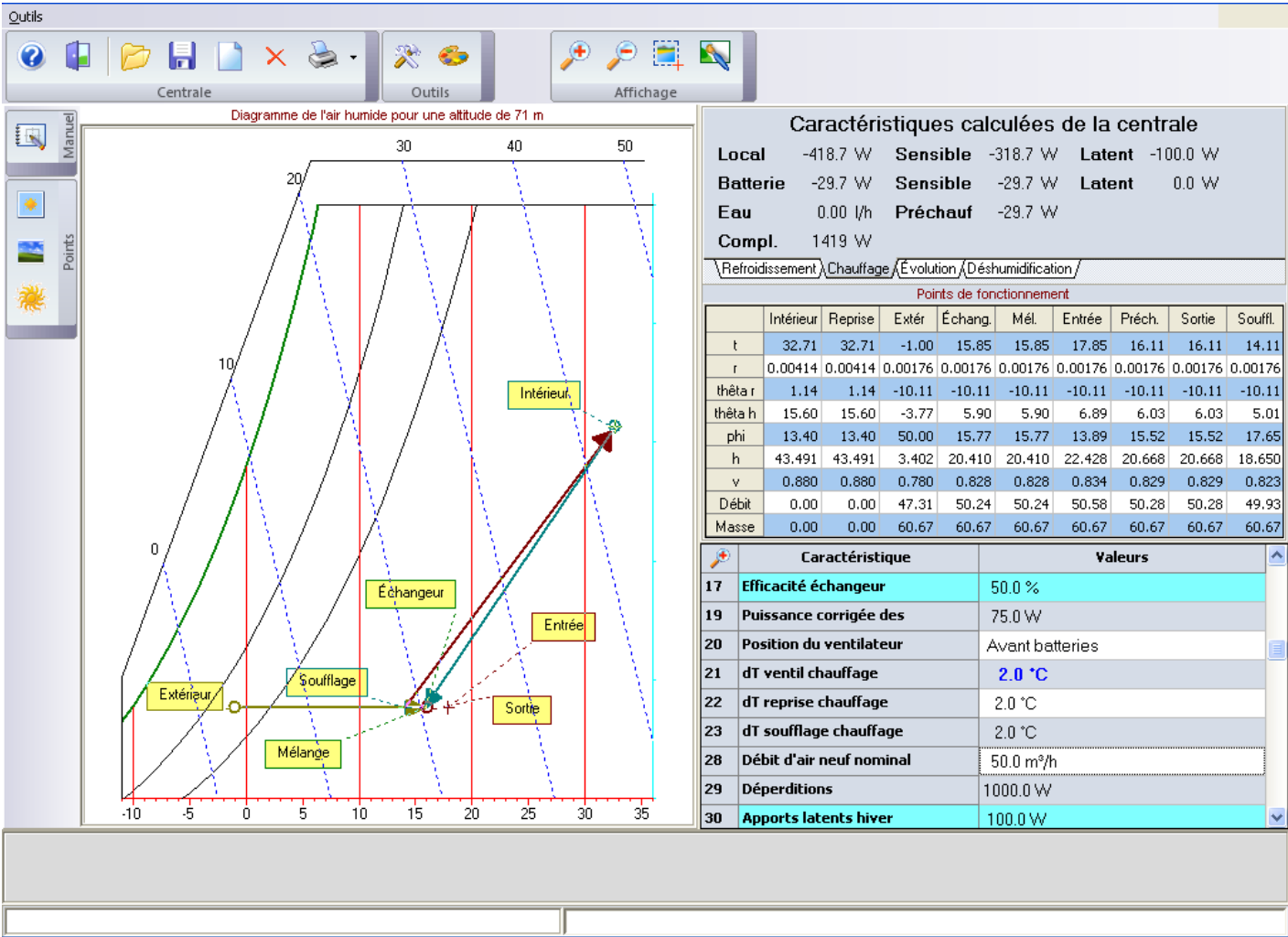
6.1. Centrale simple flux

Dans ce cas la centrale peut être calculée mais le diagramme en lui-même n'existe pas. Vous pouvez placer le point intérieur, le point extérieur et le point de sortie sur le diagramme mais aucun calcul ne sera effectué.

6.2. Centrale double flux sans recyclage

Vous pouvez choisir entre quatre contextes différents, distingués par le type d'humidification.

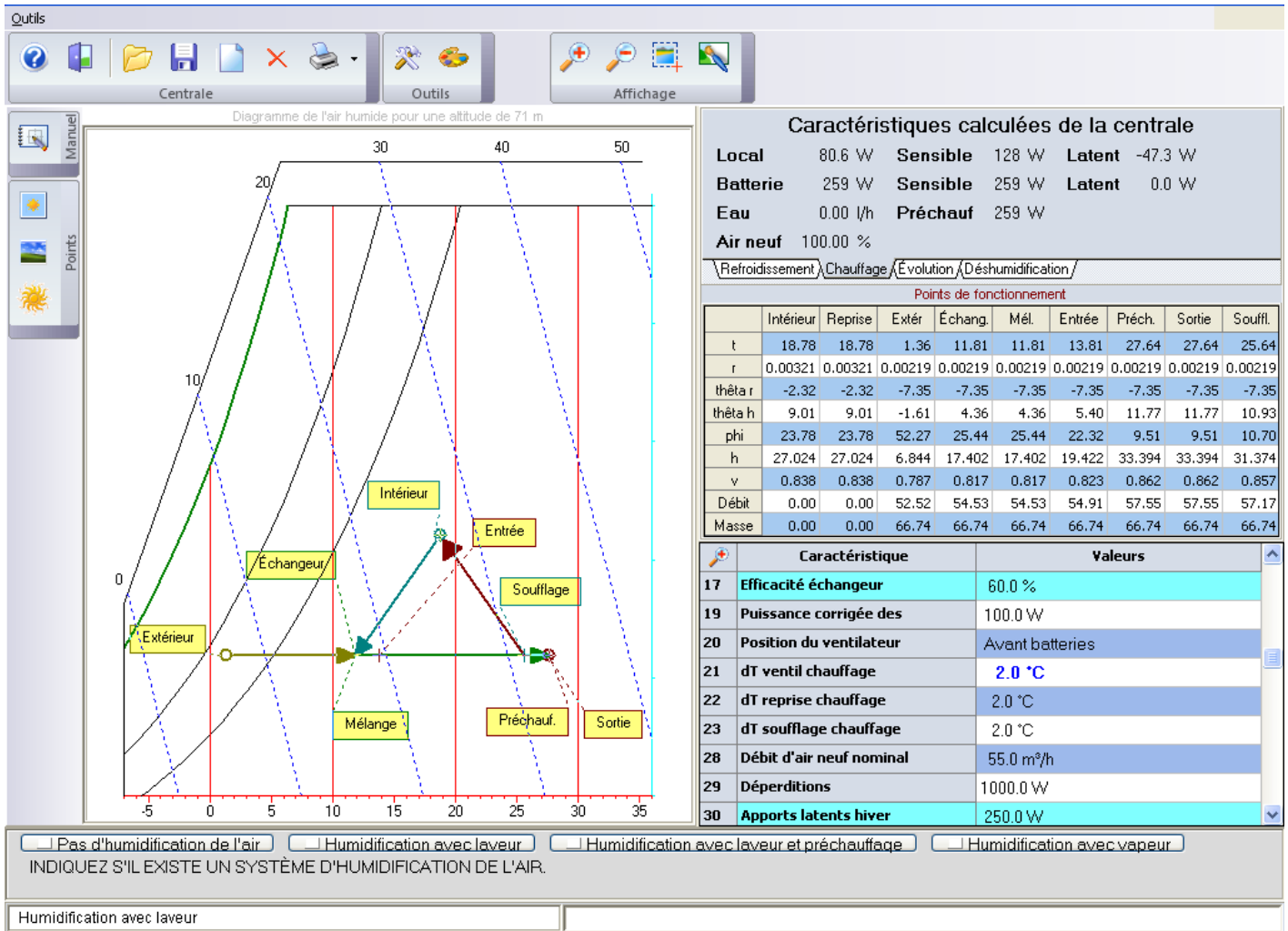
6.2.1. Pas d'humidification



Vous fixez sur le diagramme la température intérieure, les conditions extérieures et les conditions de sortie. Dans le tableau de caractéristiques, vous renseignez l'efficacité de l'échangeur et les apports latents d'hiver, qui interviennent dans le calcul de l'hygrométrie intérieure. En l'absence d'échangeur vous indiquerez une efficacité de 0.

L'air intérieur est utilisé dans l'échangeur. L'air extérieur est réchauffé (à poids d'eau constant) et soufflé dans la pièce.

6.2.2. Humidification avec laveur



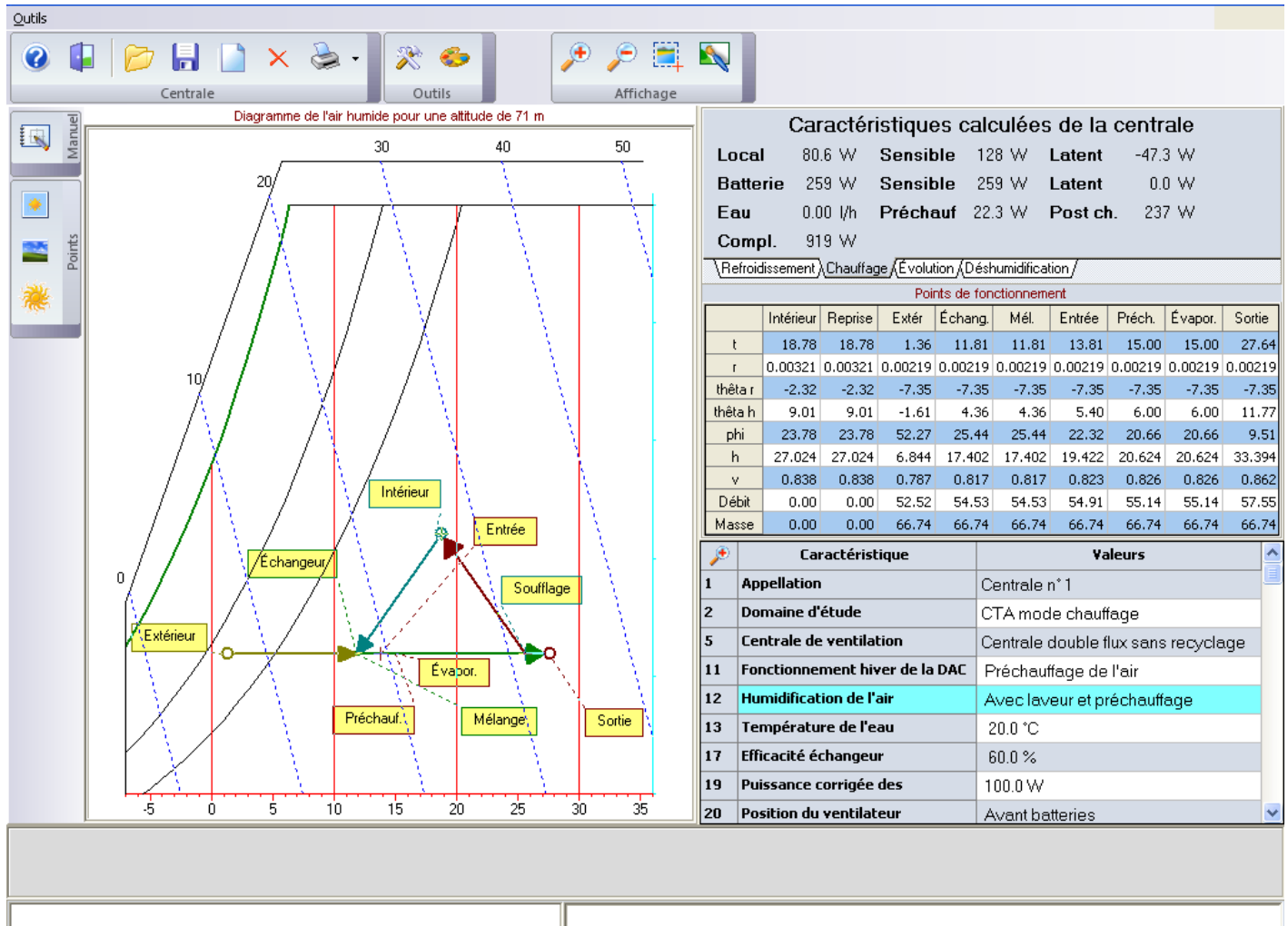
Vous fixez sur le diagramme les conditions intérieures, les conditions extérieures et les conditions de sortie. Dans le tableau de caractéristiques, vous renseignez l'efficacité de l'échangeur et les apports latents d'hiver, qui interviennent dans le calcul de l'hygrométrie intérieure, ainsi que le débit d'air neuf nominal et la température de l'eau servant à humidifier (qui n'a qu'un rôle marginal dans notre calcul). En l'absence d'échangeur vous indiquerez une efficacité de 0.

L'air intérieur est utilisé dans l'échangeur. L'air extérieur est préchauffé (à poids d'eau constant), puis humidifié et soufflé dans la pièce.

6.2.3. Humidification avec laveur et préchauffage

Vous fixez sur le diagramme les conditions intérieures, les conditions extérieures et la température de sortie (l'hygrométrie de sortie est calculée par le logiciel). Dans le tableau de caractéristiques, vous renseignez l'efficacité de l'échangeur et les apports latents d'hiver, qui interviennent dans le calcul de l'hygrométrie intérieure, ainsi que le débit d'air neuf nominal et la température de l'eau servant à humidifier (qui n'a qu'un rôle marginal dans notre calcul). Vous indiquez également la température de préchauffage. En l'absence d'échangeur vous indiquerez une efficacité de 0.

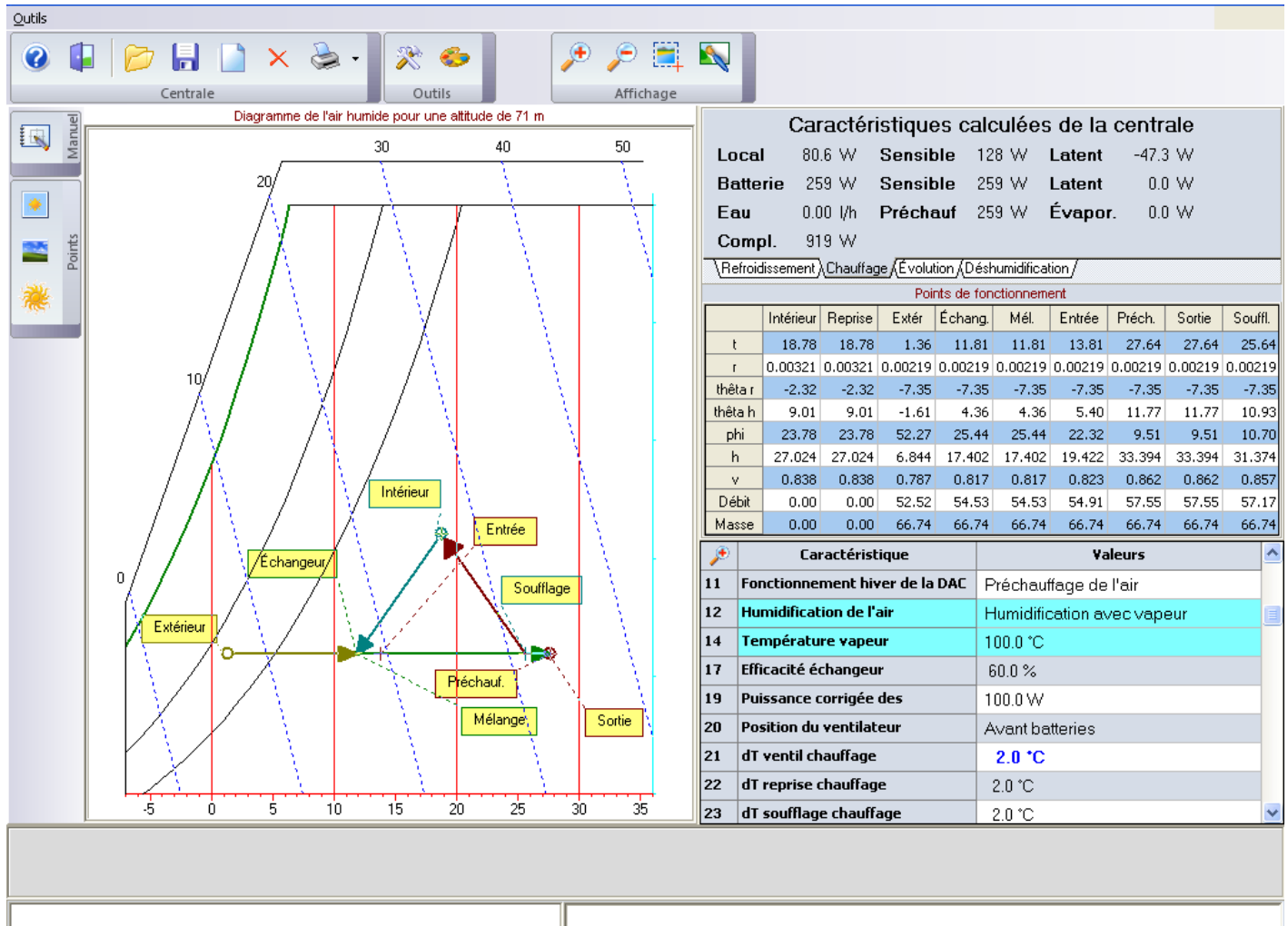
L'air intérieur est utilisé dans l'échangeur pour le préchauffage de l'air extérieur. L'air est ensuite humidifié (à température humide constante), et un réchauffage permet de rejoindre le point de soufflage.



6.2.4. Humidification avec vapeur

Vous fixez sur le diagramme les conditions intérieures, les conditions extérieures et la température de sortie (l'hygrométrie de sortie est calculée par le logiciel). Dans le tableau de caractéristiques, vous renseignez l'efficacité de l'échangeur et les apports latents d'hiver, qui interviennent dans le calcul de l'hygrométrie intérieure, ainsi que le débit d'air neuf nominal et la température de la vapeur servant à humidifier (qui n'a qu'un rôle marginal dans notre calcul). Vous indiquez également la température de préchauffage. En l'absence d'échangeur vous indiquerez une efficacité de 0.

L'air intérieur est utilisé dans l'échangeur pour le préchauffage de l'air extérieur. L'air est ensuite humidifié (à température constante) et soufflé dans la pièce.

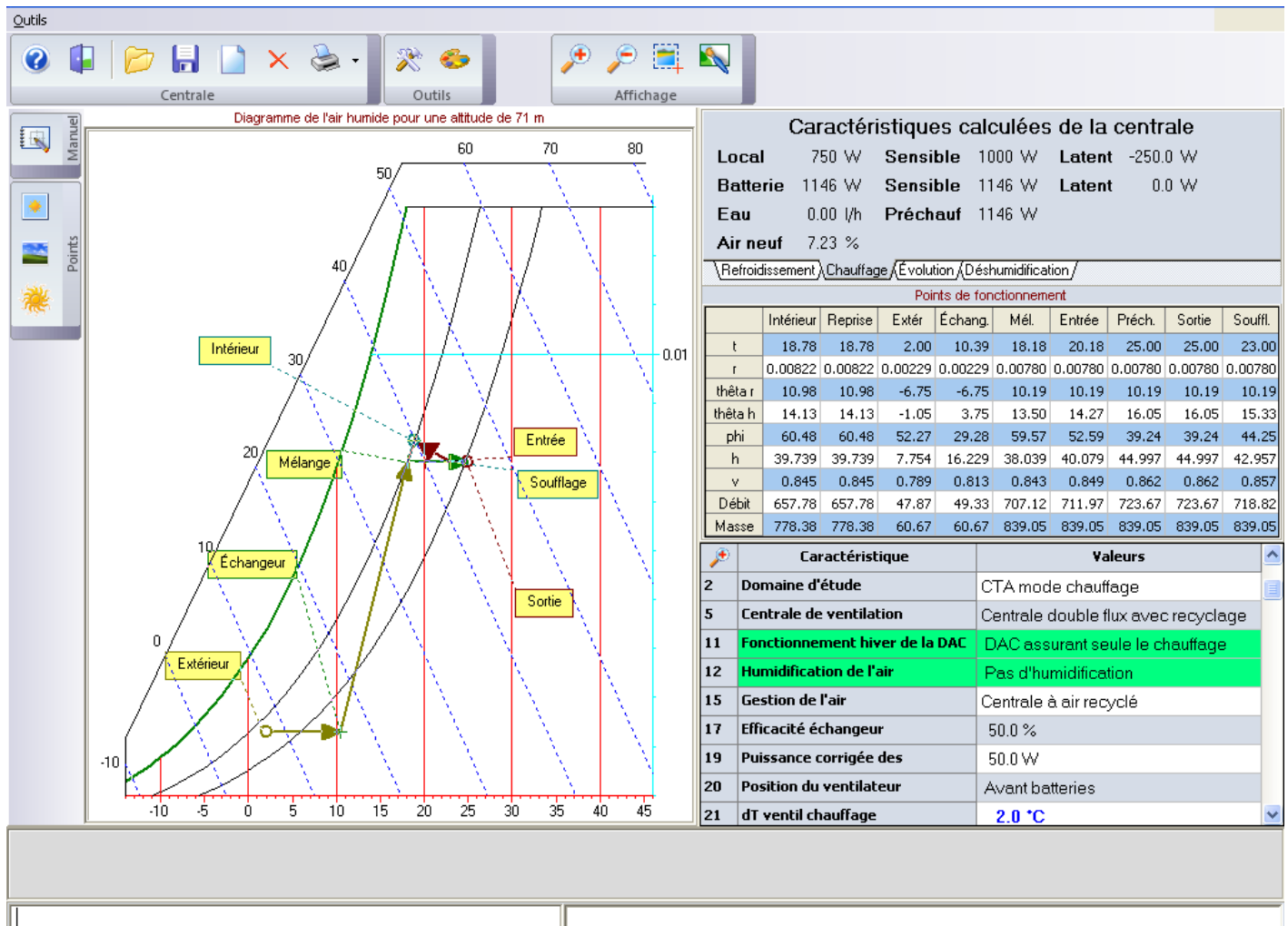


6.3. Centrale double flux avec recyclage

6.3.1. Pas d'humidification

Vous fixez sur le diagramme la température intérieure, les conditions extérieures et les conditions de sortie. Dans le tableau de caractéristiques, vous renseignez l'efficacité de l'échangeur et le taux d'air neuf. En l'absence d'échangeur, indiquez une efficacité de 0.

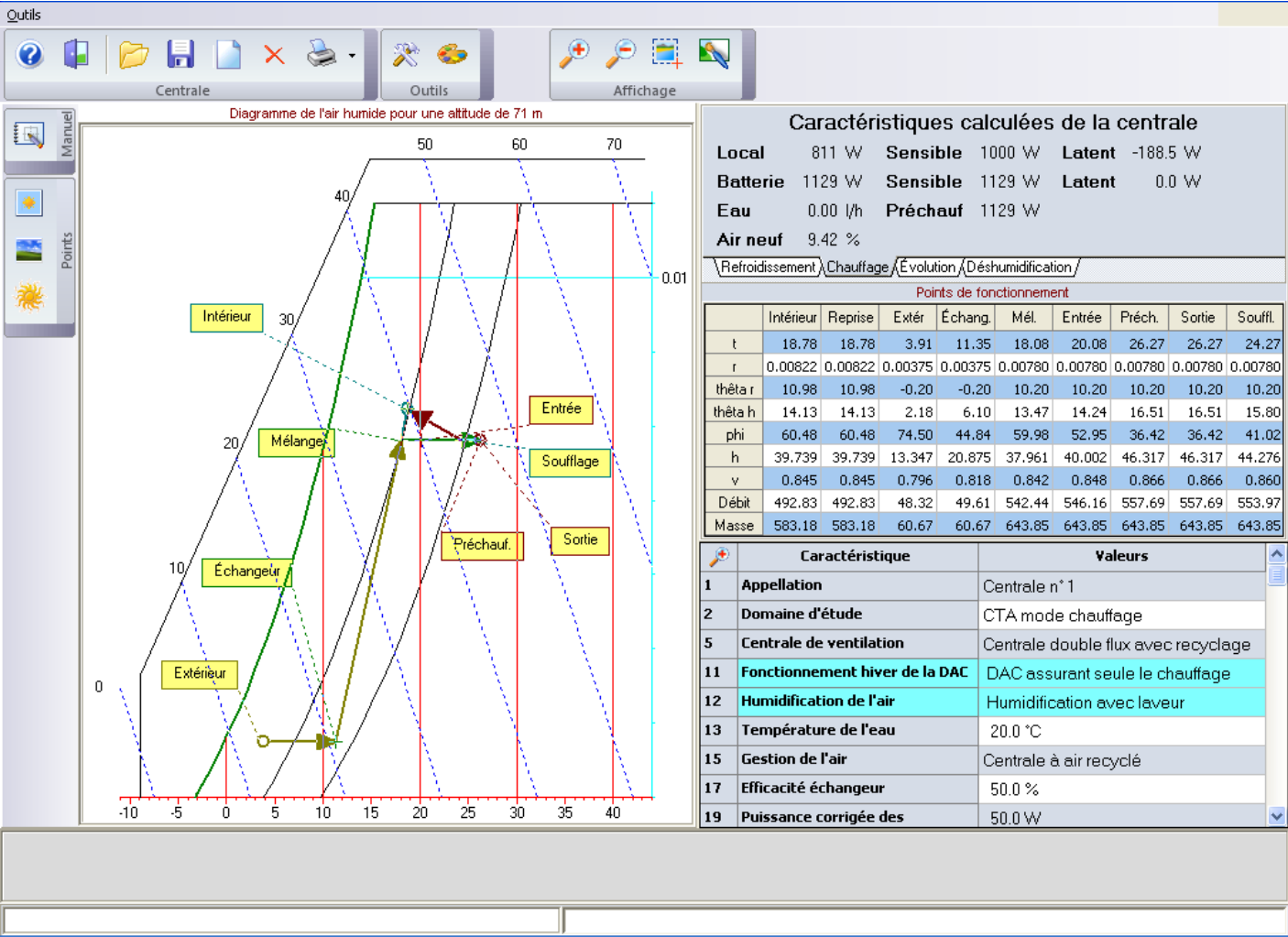
L'air extrait est recyclé et mélangé à l'air extérieur. Le mélange est réchauffé (à poids d'eau constant) et soufflé dans la pièce.



6.3.2. Humidification avec laveur

Vous fixez sur le diagramme les conditions intérieures, les conditions extérieures et les conditions de sortie. Dans le tableau de caractéristiques, vous renseignez l'efficacité de l'échangeur et les apports latents d'hiver, qui interviennent dans le calcul de l'hygrométrie intérieure, ainsi que le débit d'air neuf nominal et la température de l'eau servant à humidifier (qui n'a qu'un rôle marginal dans notre calcul). En l'absence d'échangeur vous indiquerez une efficacité de 0.

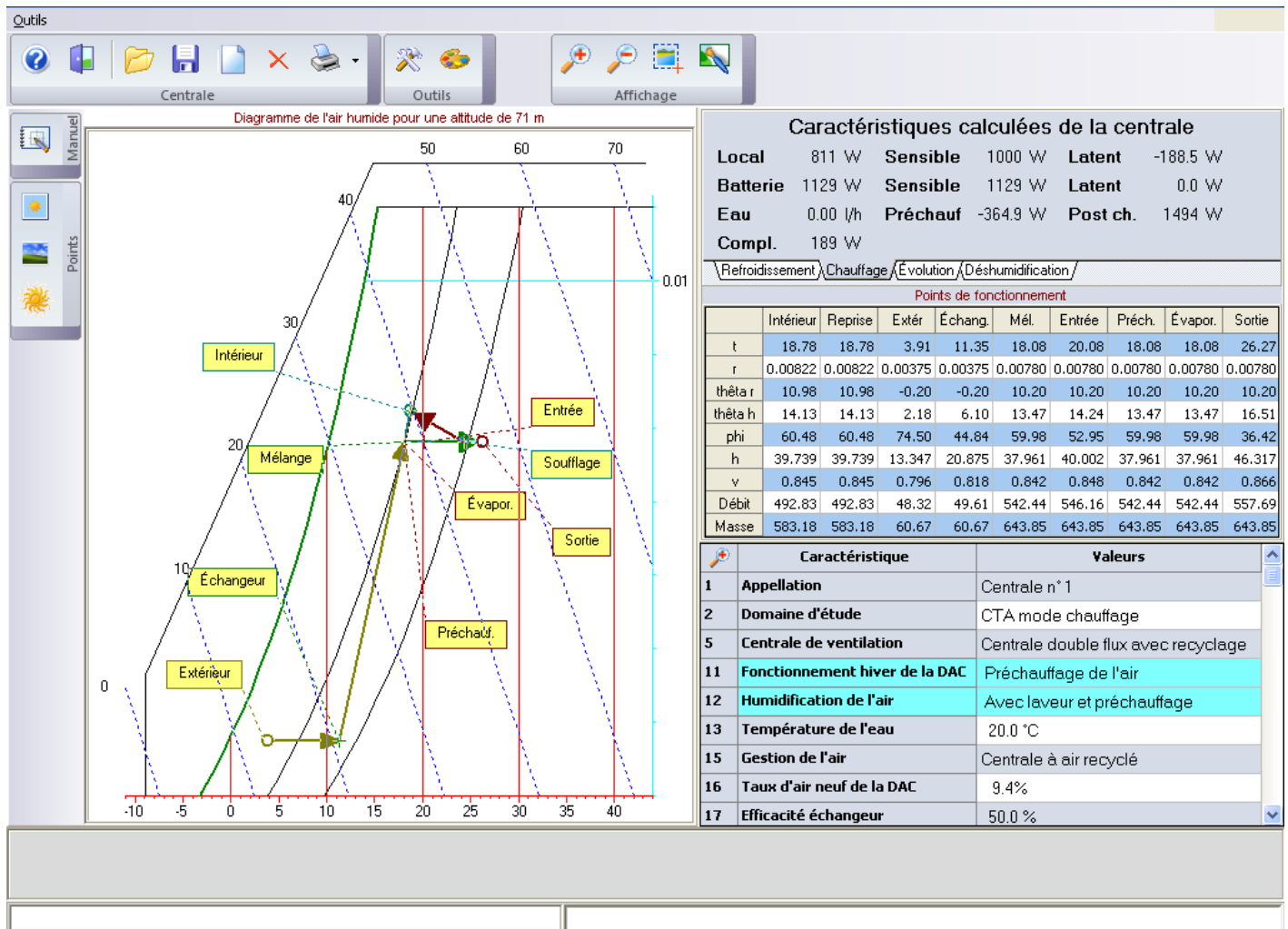
L'air extrait est recyclé et mélangé à l'air extérieur. L'air extérieur est préchauffé (à poids d'eau constant), puis humidifié et soufflé dans la pièce.



6.3.3. Humidification avec laveur et préchauffage

Vous fixez sur le diagramme les conditions intérieures, les conditions extérieures et la température de sortie (l'hygrométrie de sortie est calculée par le logiciel). Dans le tableau de caractéristiques, vous renseignez l'efficacité de l'échangeur et les apports latents d'hiver, qui interviennent dans le calcul de l'hygrométrie intérieure, ainsi que le débit d'air neuf nominal et la température de l'eau servant à humidifier (qui n'a qu'un rôle marginal dans notre calcul). Vous indiquez également la température de préchauffage. En l'absence d'échangeur vous indiquerez une efficacité de 0.

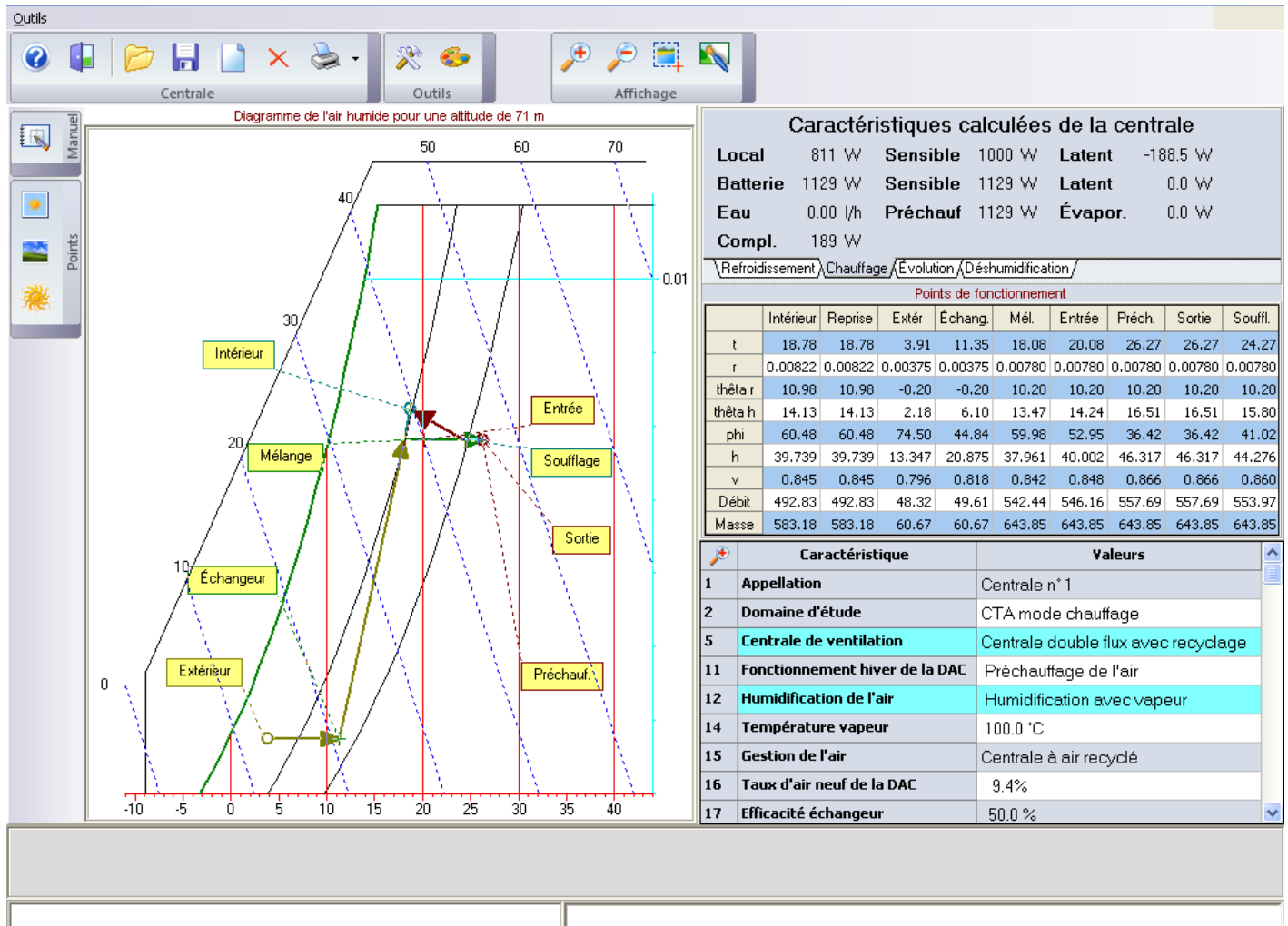
L'air extrait est recyclé et mélangé à l'air extérieur. L'air est ensuite humidifié (à température humide constante), et un réchauffage permet de rejoindre le point de soufflage.



6.3.4. Humidification avec vapeur

Vous fixez sur le diagramme les conditions intérieures, les conditions extérieures et la température de sortie (l'hygrométrie de sortie est calculée par le logiciel). Dans le tableau de caractéristiques, vous renseignez l'efficacité de l'échangeur et les apports latents d'hiver, qui interviennent dans le calcul de l'hygrométrie intérieure, ainsi que le débit d'air neuf nominal et la température de la vapeur servant à humidifier (qui n'a qu'un rôle marginal dans notre calcul). Vous indiquez également la température de préchauffage. En l'absence d'échangeur vous indiquerez une efficacité de 0.

L'air extrait est recyclé et mélangé à l'air extérieur. Puis il est humidifié (à température constante) et soufflé dans la pièce.

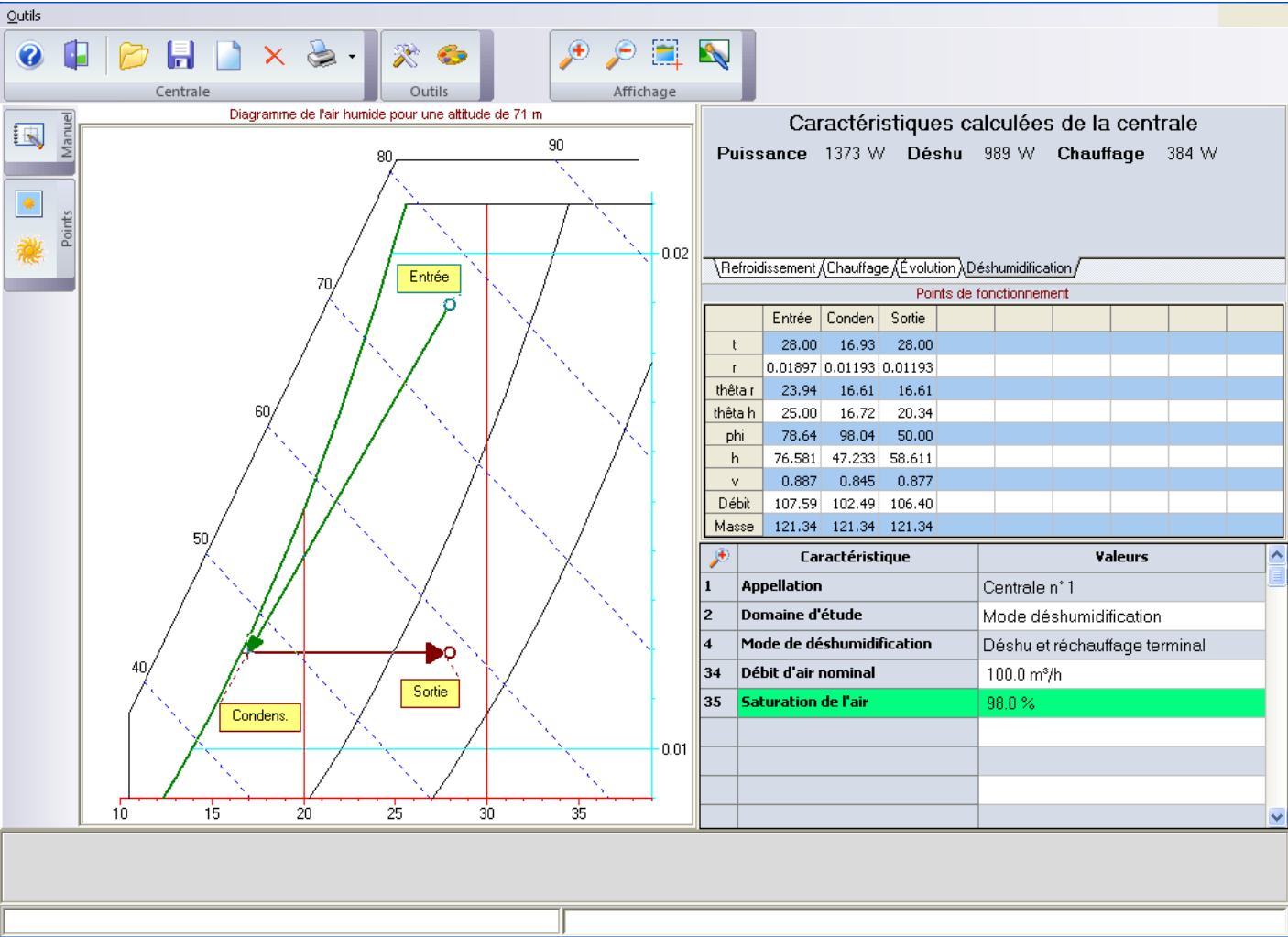


7. Mode déshumidification

7.1. Déshumidification et réchauffage terminal

Le système de chauffage est indépendant de la centrale qui assure donc simplement la déshumidification. Vous fixez le point d'entrée et le point de sortie. Le degré de saturation pouvant être atteint est saisi dans le tableau des caractéristiques.

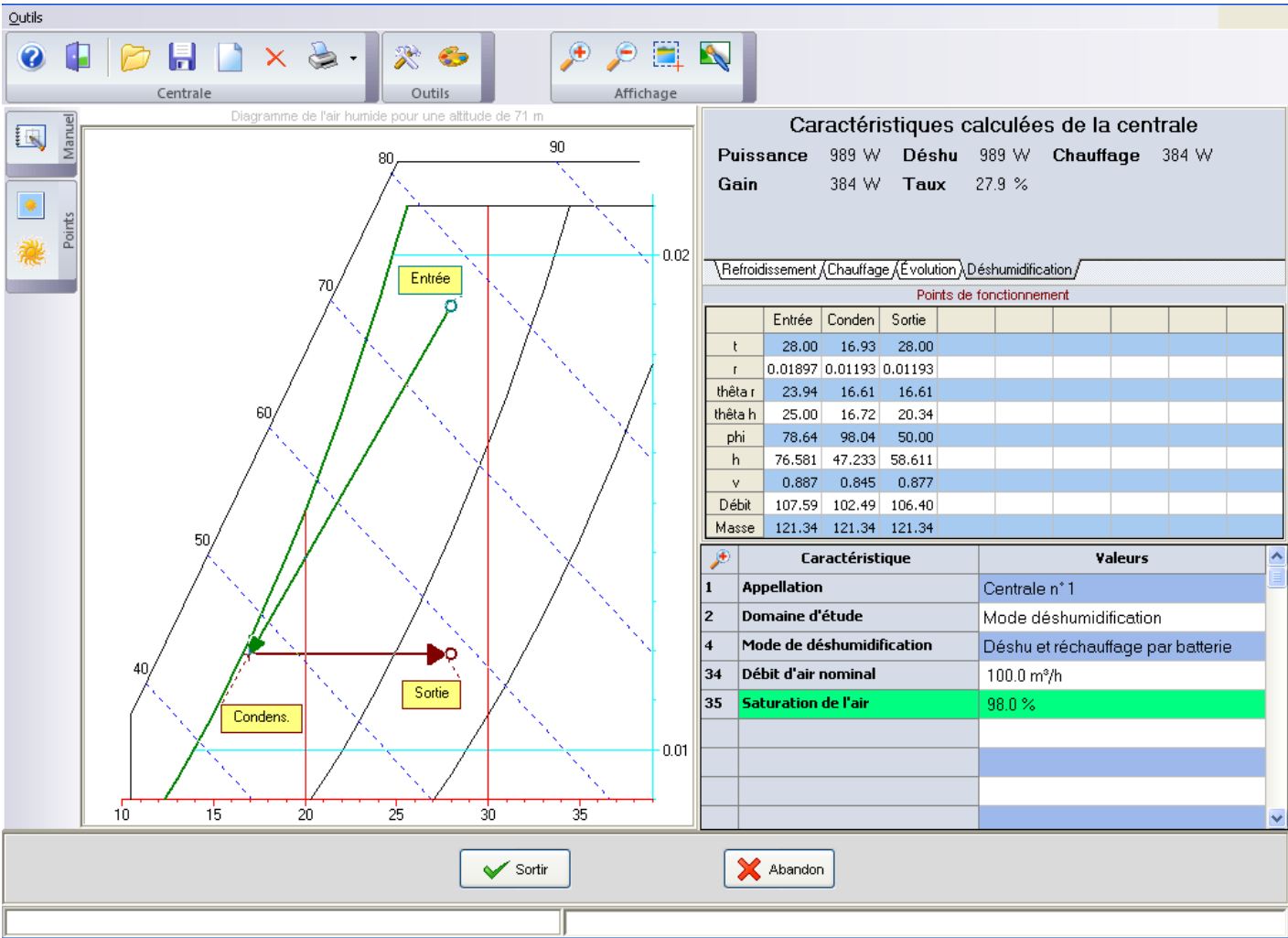
L'air entrant est déshumidifié jusqu'à atteindre le poids d'eau du point de sortie, puis réchauffé.



7.2. Déshumidification et réchauffage par batterie

Le système de chauffage utilise la production de chaleur de la batterie froide, ce qui conduit à un gain énergétique. Vous fixez le point d'entrée et le point de sortie. Le degré de saturation pouvant être atteint est saisi dans le tableau des caractéristiques.

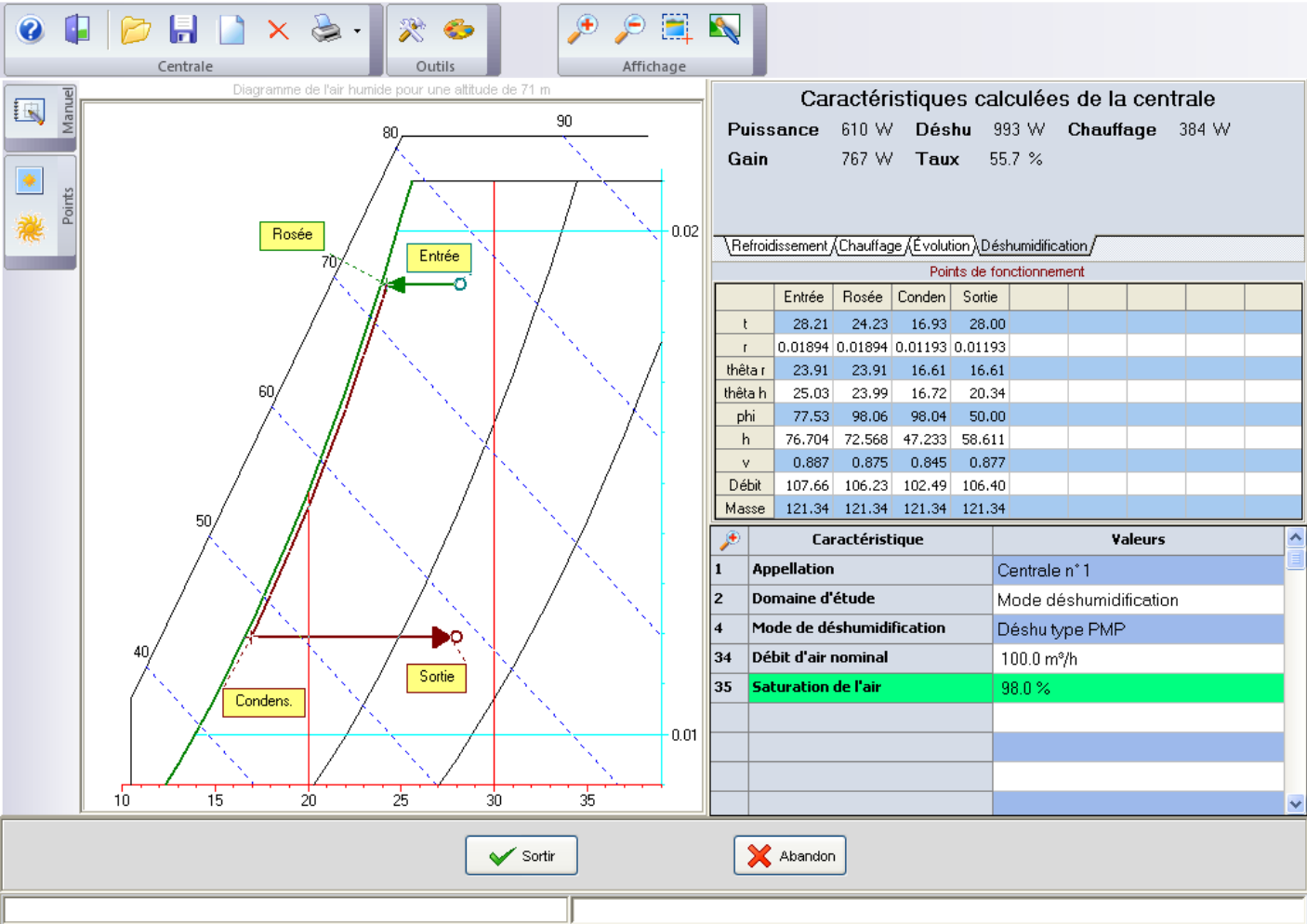
L'air entrant est déshumidifié jusqu'à atteindre le poids d'eau du point de sortie, puis réchauffé.



7.3. Déshumidification de type PMP

Le système de chauffage est intégré dans l'échangeur, ce qui autorise un gain énergétique. Vous fixez le point d'entrée et le point de sortie. Le degré de saturation pouvant être atteint est saisi dans le tableau des caractéristiques.

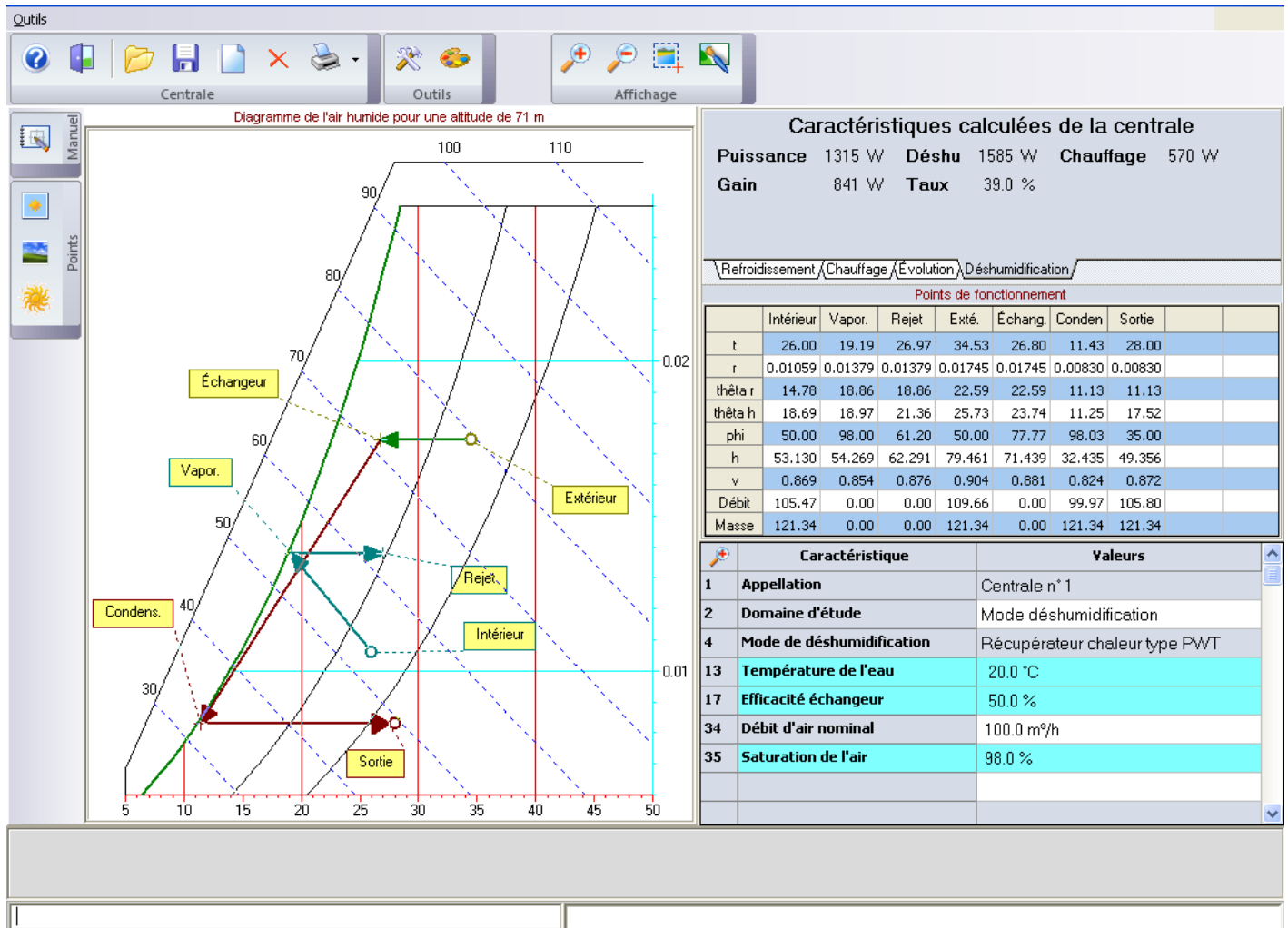
L'air entrant est refroidi jusqu'au point de rosée, puis refroidi sur la courbe de condensation jusqu'à atteindre le poids d'eau du point de sortie, puis réchauffé.



7.4. Déshumidification avec récupérateur de chaleur de type PWT

Vous fixez sur le diagramme le point intérieur, le point extérieur et le point de sortie. Dans le tableau des caractéristiques, vous choisissez encore l'efficacité de l'échangeur, le degré de saturation de l'air ainsi que la température de l'eau servant à humidifier, ce dernier paramètre n'ayant naturellement qu'une influence marginale sur notre calcul.

L'air intérieur est utilisé dans l'échangeur pour abaisser par vaporisation la température de l'air extérieur. L'air extérieur est ensuite refroidi jusqu'au poids d'eau souhaité (il faut naturellement veiller à ce que la droite d'évolution ne traverse pas la courbe de saturation au cours de cette phase) puis réchauffé.



8. Les calculs

8.1. Les fonctions de base

8.1.1. Pression atmosphérique – correction en fonction de l'altitude

La pression atmosphérique moyenne au niveau de la mer est prise égale à :

$$P_0 = 101325 \text{ Pa}$$

[Source : Ashrae 1997 - valeur communément admise]

La pression atmosphérique diminue avec l'altitude : à 1000 mètres, elle a perdu 11.3% de sa valeur. La pression moyenne P_A à l'altitude A (en mètres) est donnée par :

$$P_A = P_0 * e^{\ln(1-0.000022577*A)*5.2559}$$

[Source : Ashrae 1997 - valeur communément admise - la formule fonctionne également avec des altitudes négatives.]

Afin d'assurer la cohérence des calculs, les modules de centrales et d'air humide considèrent un volume spécifique standard de l'air qui doit respecter le coefficient de 0.34 utilisé par les calculs de déperditions. La valeur utilisée ici est celle obtenue pour de l'air à 1.5 g d'eau par kg d'air sec et à 13°C (ce qui donne 50% d'hygrométrie). On obtient :

$$(1.006 + 0.0015 * 1.805) / (0.34 * 3.6) = 0.824107435 = V_{s_{BASE}}$$

De même, pour le calcul hiver on n'utilise pas 1.006 comme enthalpie par degré mais $1.0087075 = 1.006 + 1.805 * 0.0015$ correspondant à 1.5 g d'eau/kg d'air sec = E_{BASE} .

8.1.2. Pression de vapeur saturante à la température T

La pression de vapeur saturante P_{vs} croît très rapidement avec la température. Elle est donnée par une formule empirique :

$$T_K = T + 273.15$$

$$K = -5.8002206 * 10^3 / T_K + 6.5459673 * \ln(T_K) + 1.3914993 + T_K * (-4.8640239 * 10^{-2} + T_K * (4.1764768 * 10^{-5} + (T_K * -1.4452093 * 10^8)))$$

$$P_{vs}(T) = e^K$$

[Source : Ashrae 1997]

8.1.3. Dérivée de la fonction donnant la pression de vapeur saturante à la température T

On utilise cette fonction dans les formules implicites. L'expression de la pression de vapeur saturante en fonction de la température est dérivable, et l'on obtient facilement sa valeur en T :

$$T_K = T + 273.15$$

$$K' = 5.8002206 * 10^3 / T_K^2 + 6.5459673 / T_K + -4.8640239 * 10^{-2} + T_K * (2 * 4.1764768 * 10^{-5} + (T_K * 3 * -1.4452093 * 10^8))$$

$$P_{vs}'(T) = K' * P_{vs}(T)$$

8.1.4. Poids d'eau à saturation pour une température T

Le poids d'eau à saturation croît avec la température. Pour une altitude A et une température T, il est donné (en kg par kg d'air sec) par la formule :

$$PoidsS(T) = \frac{0.621978 * P_{vs}(T)}{P_A - P_{vs}(T)}$$

où $P_{vs}(T)$ est la pression de vapeur saturante à la température T et P_A la pression atmosphérique à l'altitude A.

8.1.5. Dérivée de la fonction donnant le poids d'eau à saturation pour une température T

On utilise cette fonction dans les formules implicites. L'expression de la pression de vapeur saturante en fonction de la température est dérivable, et la formule de dérivation d'un quotient de polynômes donne facilement sa valeur en T :

$$PoidsS'(T) = 0.621978 * \frac{P_{vs}'(T) * P_A}{(P_A - P_{vs})^2}$$

où $P_{vs}(T)$ est la pression de vapeur saturante à la température T et P_A la pression atmosphérique à l'altitude A.

8.1.6. Hygrométrie relative en fonction de la température et du poids d'eau

L'hygrométrie relative (en %) est donnée en fonction du poids d'eau W (en kg par kg) et de la température T par la formule :

$$\varphi(T, W) = \frac{P_A * W * 100}{(0.621978 + W) * P_{vs}(T)}$$

où $P_{vs}(T)$ est la pression de vapeur saturante à la température T et P_A la pression atmosphérique à l'altitude A.

8.1.7. Poids d'eau en fonction de la température et de l'hygrométrie relative

Le poids d'eau en kg par kg est donné en fonction de la température T et de l'hygrométrie relative (en %) par la formule :

$$W(T, \varphi) = \frac{0.621978 * \varphi * P_{vs}(T)}{100 * P_A - \varphi * P_{vs}(T)}$$

où $P_{vs}(T)$ est la pression de vapeur saturante à la température T et P_A la pression atmosphérique à l'altitude A.

8.1.8. Enthalpie en fonction de la température et du poids d'eau

L'enthalpie de l'air humide est la somme de deux valeurs : une part due à l'air sec et une part due à la vapeur d'eau. Elle dépend donc de la température T et du poids d'eau W (en kg par kg). Par convention, la température de l'air sec à 0°C est fixée à 0 et l'air froid peut donc avoir une enthalpie négative.

$$H = 1.006 * T + W * (2501 + 1.805 * T) \quad (\text{en watts})$$

1.006 est la capacité massique de l'air sec en kJ/(kg.°C). Elle est pratiquement constante dans la plage de températures utilisée en chauffage et en climatisation. Compte tenu de sa valeur proche de 1, il arrive que ce paramètre soit omis dans les formules, et il faudra vous en souvenir si vous comparez les résultats fournis par ClimaWin à ceux provenant d'une source moins exacte.

2501 est la chaleur de vaporisation de l'eau en kJ/kg.

1.805 est la chaleur massique de la vapeur d'eau en kJ/kg.

8.1.9. Température en fonction de l'enthalpie et du poids d'eau

La température conduisant à une enthalpie H (en watts) pour un poids d'eau W (en kg par kg) est donnée par :

$$T = \frac{H - W * 2501}{1.006 + 1.805 * W}$$

1.006 est la capacité massique de l'air sec en kJ/(kg.°C).

2501 est la chaleur de vaporisation de l'eau en kJ/kg.

1.805 est la chaleur massique de la vapeur d'eau en kJ/kg.

8.1.10. Poids d'eau en fonction de l'enthalpie et de la température

Le poids d'eau conduisant à une enthalpie H (en watts) à température T donnée est donné par :

$$W = \frac{H - T * 1.006}{2501 + 1.805 * T} \quad (\text{en kg par kg})$$

1.006 est la capacité massique de l'air sec en kJ/(kg. °C).

2501 est la chaleur de vaporisation de l'eau en kJ/kg.

1.805 est la chaleur massique de la vapeur d'eau en kJ/kg.

8.1.11. Parts sensible et latente de l'enthalpie

L'enthalpie de l'air humide est la somme de deux valeurs : une part due à l'air sec et une part due à la vapeur d'eau. La part due à l'air sec ne dépend que de la température T (par convention, l'enthalpie de l'air à 0°C est nulle) :

$$H_1 = 1.006 * T \quad (\text{en watts})$$

1.006 est la capacité massique de l'air sec en kJ/(kg. °C).

La part due à la vapeur dépend bien évidemment du poids d'eau W exprimé en kg par kg :

$$H_2 = W * (2501 + 1.805 * T) \quad (\text{en watts})$$

2501 est la chaleur de vaporisation de l'eau en kJ/kg.

1.805 est la chaleur massique de la vapeur d'eau en kJ/kg.

Cependant, il faut tenir compte de la distinction entre apports sensibles et apports latents. La petite part d'enthalpie liée à la chaleur massique de la vapeur d'eau relève des apports sensibles et non des apports latents (la vapeur d'eau étant ici considérée comme un constituant ordinaire de l'air et non comme un constituant spécial pouvant venir à se condenser). De ce fait, il est préférable de diviser l'enthalpie en une part « sensible » et une part « latente » données respectivement par :

$$H_s = (1.006 + 1.805 * W) * T \quad (\text{en watts})$$

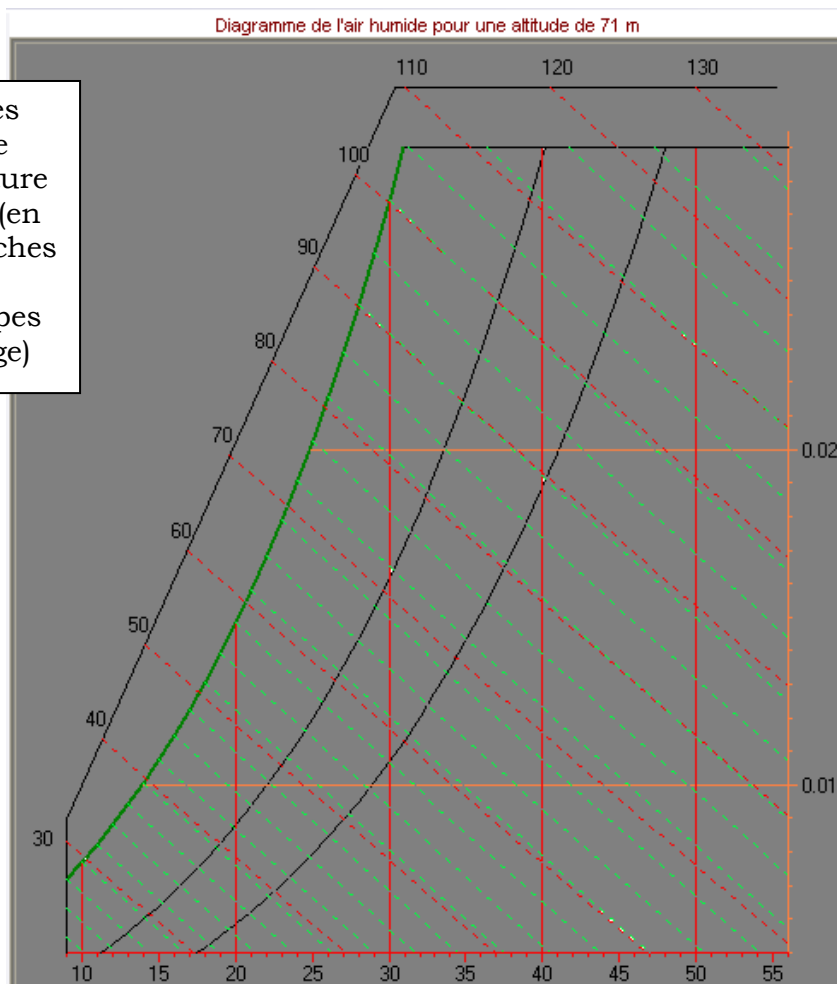
$$H_L = W * 2501 \quad (\text{en watts})$$

En fait, l'enthalpie sensible est très proche de l'enthalpie de l'air sec.

8.1.12. Calcul de la température humide

Soit un air à température et poids d'eau donnés. La température humide de cet air est la température atteinte si l'on y évapore de l'eau liquide à pression constante jusqu'à saturation.

Courbes
d'égale
température
humide (en
vert), proches
des
isenthalpes
(en rouge)



Les courbes d'égale température humide apparaissent comme des droites obliques, que vous choisirez souvent de ne pas faire apparaître sur le diagramme en raison notamment de leur proximité avec les isenthalpes (avec lesquelles il ne faut pas les confondre). De par sa définition, la courbe de température humide t rencontre la courbe de saturation au point d'abscisse t .

On ne dispose pas d'une formule directe donnant la température humide avec une précision suffisante. Elle est calculée en fonction de la température et du poids d'eau W (en kg par kg). On l'approche par des températures T_x successives au moyen de la fonction :

$$f(T) = 1.006 * T + (2501 + 1.805 * T) * W - (1.006 + 4.186 * W) * T_x + \text{PoidsS}(T_x) * (2.381 * T_x - 2501)$$

que l'on dérive par rapport à la température T_x :

$$f'(T) = -(1.006 + 4.186 * W) + 2.381 * \text{PoidsS}(T_x) * \text{PoidsS}'(T_x) * (2.381 * T_x - 2501)$$

$\text{PoidsS}(T)$ est le poids d'eau à saturation à la température T .

1.006 est la capacité massique de l'air sec en kJ/(kg. °C).

2501 est la chaleur de vaporisation de l'air en kJ/kg.

1.805 est la chaleur massique de la vapeur d'eau en kJ/kg.

4.186 est le facteur de conversion bien connu (1 calorie \approx 4.186 joules).

On calcule alors la température humide T_h par approximations successives :

$T_x = T$
Répéter
 $\text{Ecart} = -f(T_x) / f'(T_x)$
 $T_x = T_x + \text{Ecart}$
Jusqu'à convergence (Ecart < 0.001)
 $T_h = T_x$

8.1.13. Calcul de la température sèche à partir de la température humide et du poids d'eau

La température sèche T correspondant à une température humide T_h et à un poids d'eau W (en kg par kg) est donnée par :

$$T = \frac{(1.006 + 4.186 * W) * T_h - 2501 * W - \text{PoidsS}(T_h) * (2.381 * T_h - 2501)}{1.006 + 1.805 * W}$$

$\text{PoidsS}(T)$ est le poids d'eau à saturation à la température T .

1.006 est la capacité massique de l'air sec en kJ/(kg. °C).

2501 est la chaleur de vaporisation de l'air en kJ/kg.

1.805 est la chaleur massique de la vapeur d'eau en kJ/kg.

4.186 est le facteur de conversion d'unités (1 calorie \approx 4.186 joules).

8.1.14. Calcul du poids d'eau à partir de la température humide et de la température sèche

Le poids d'eau W (en kg par kg) associé à une température humide T_h et à une température sèche T est donné par :

$$W = \frac{(1.006 * (T_h - T) + \text{PoidsS}(T_h) * (2501 - 2.381 * T_h))}{2501 + 1.805 * T - 4.186 * T_h}$$

$\text{PoidsS}(T)$ est le poids d'eau à saturation à la température T .

1.006 est la capacité massique de l'air sec en kJ/(kg. °C).

2501 est la chaleur de vaporisation de l'air en kJ/kg.

1.805 est la chaleur massique de la vapeur d'eau en kJ/kg.

4.186 est le facteur de conversion d'unités (1 calorie \approx 4.186 joules).

8.1.15. Calcul de la température de rosée pour un poids d'eau donné

On cherche ici le point d'intersection entre une droite d'humidité absolue W (une horizontale sur le diagramme) et la courbe de saturation. On effectue pour cela un calcul itératif en approchant la température de rosée T_r par des températures T_x successives en utilisant la fonction :

$$f(T_x) = \text{PoidsS}(T_x) - W$$

que l'on dérive par rapport à la température T_x :

$$f'(T_x) = \text{PoidsS}'(T_x)$$

$\text{PoidsS}(T)$ est le poids d'eau à saturation à la température T .

On calcule alors la température de rosée T_r par approximations successives en partant arbitrairement de 20°C :

$T_x = 20$
Répéter
 $\text{Ecart} = -f(T_x) / f'(T_x)$
 $T_x = T_x + \text{Ecart}$
Jusqu'à convergence (Ecart < 0.001)
 $T_r = T_x$

8.1.16. Calcul de la température pour une humidité relative et un poids d'eau donnés

Le poids d'eau W (en kg par kg) et l'humidité relative φ (en %) étant connus, on approche la température T par des températures T_x successives en utilisant la fonction :

$$f(T_x) = \frac{\varphi}{100} * \text{PoidsS}(T_x) - W$$

que l'on dérive par rapport à la température T_x :

$$f'(T_x) = \frac{\varphi}{100} * \text{PoidsS}'(T_x)$$

$\text{PoidsS}(T)$ est le poids d'eau à saturation à la température T .

On calcule alors la température T par approximations successives en partant arbitrairement de 20°C :

$T_x = 20$
Répéter
 $\text{Ecart} = -f(T_x) / f'(T_x)$
 $T_x = T_x + \text{Ecart}$
Jusqu'à convergence (Ecart < 0.001)
 $T = T_x$

8.1.17. Volume spécifique de l'air en fonction de la température et du poids d'eau

Le volume spécifique est le volume d'air humide par unité de masse d'air sec. Pour une température T et un poids d'eau W (en kg par kg), il est donné (en m^3/kg) par :

$$V_{\text{SPEC}} = \frac{461.52 * (0.621978 + W) * (T + 273.15)}{P_A}$$

où P_A est la pression atmosphérique à l'altitude du site (en Pa) et où 461.52 [en $\text{J}/(\text{K}.\text{kg})$] est l'expression de la constante des gaz parfaits. 0.621978 est le rapport des constantes des gaz parfaits de l'air et de la vapeur (R_A / R_V).

8.1.18. Poids d'eau en fonction du volume spécifique de l'air et de la température

Pour une température T et un volume spécifique V_{SPEC} (en m^3/kg), le poids d'eau en kg par kg est donné par :

$$W = \frac{V_{SPEC} * P_A}{461.52 * (T + 273.15)} - 0.621978$$

où P_A est la pression atmosphérique à l'altitude du site (en Pa) et où 461.52 [en J/(K.kg)] est l'expression de la constante des gaz parfaits. 0.621978 est le rapport des constantes des gaz parfaits de l'air et de la vapeur (R_A / R_V).

8.1.19. Température en fonction du volume spécifique et de l'hygrométrie

Pour un poids d'eau W (en kg par kg) et un volume spécifique V_{SPEC} (en m^3/kg), la température T est donnée par :

$$T = \frac{V_{SPEC} * P_A}{461.52 * (0.621978 + W)} - 273.15$$

où P_A est la pression atmosphérique à l'altitude du site (en Pa) et où 461.52 [en J/(K.kg)] est l'expression de la constante des gaz parfaits. 0.621978 est le rapport des constantes des gaz parfaits de l'air et de la vapeur (R_A / R_V).

8.1.20. Température en fonction du volume spécifique à saturation

Le volume spécifique à saturation V_{SPECs} étant donné, on peut déterminer la température T associée par un calcul itératif. On approche T par des températures T_x successives en utilisant la fonction :

$$f(T_x) = \frac{461.520 * (0.621978 + \text{PoidsS}(T_x)) * (T_x + 273.15)}{P_A} - V_{SPECs}$$

que l'on dérive par rapport à la température T_x :

$$f'(T_x) = \frac{461.520 * (\text{PoidsS}'(T_x) * (T_x + 273.15) + 0.621978 + \text{PoidsS}(T_x))}{P_A}$$

$\text{PoidsS}(T)$ est le poids d'eau à saturation à la température T . P_A est la pression atmosphérique à l'altitude du site (en Pa) et 461.52 [en J/(K.kg)] est l'expression de la constante des gaz parfaits. 0.621978 est le rapport des constantes des gaz parfaits de l'air et de la vapeur (R_A / R_V).

On calcule alors la température T par approximations successives en partant arbitrairement de 20°C :

$T_x = 20$
Répéter
 $Ecart = -f(T_x) / f'(T_x)$
 $T_x = T_x + Ecart$
Jusqu'à convergence (Ecart < 0.001)
 $T = T_x$

8.1.21. Température en fonction du volume spécifique et du poids d'eau

Le volume spécifique à saturation V_{SPECS} étant donné, on peut déterminer par un calcul itératif la température T associée. On approche T par des températures T_x successives en utilisant la fonction :

$$f(T_x) = \frac{461.520 * (0.621978 + PoidsS(T_x) * \varphi / 100) * (T_x + 273.15)}{P_A} - V_{SPECS}$$

que l'on dérive par rapport à la température T_x :

$$f'(T_x) = \frac{461.520 * (PoidsS'(T_x) * \varphi / 100 * (T_x + 273.15) + 0.621978 + PoidsS(T_x))}{P_A}$$

$PoidsS(T)$ est le poids d'eau à saturation à la température T. P_A est la pression atmosphérique à l'altitude du site (en Pa) et 461.52 [en J/(K.kg)] est l'expression de la constante des gaz parfaits. 0.621978 est le rapport des constantes des gaz parfaits de l'air et de la vapeur (R_A / R_V).

On calcule alors la température T par approximations successives en partant arbitrairement de 20°C :

$T_x = 20$
Répéter
 $Ecart = -f(T_x) / f'(T_x)$
 $T_x = T_x + Ecart$
Jusqu'à convergence (Ecart < 0.001)
 $T = T_x$

8.1.22. Enthalpie à la pression de saturation

L'enthalpie atteinte à saturation à une température T est donnée (en watts) par :

$$H_{SAT} = 1.006 * T * PoidsS(T) * (2501 + 1.805 * T)$$

PoidsS(T) est le poids d'eau à saturation à la température T.

1.006 est la capacité massique de l'air sec en kJ/(kg. °C).

2501 est la chaleur de vaporisation de l'air en kJ/kg.

1.805 est la chaleur massique de la vapeur d'eau en kJ/kg.

8.1.23. Température en fonction de l'enthalpie à saturation

L'enthalpie à saturation H_{SAT} étant donnée (en watts), il est possible de calculer la température de saturation au moyen d'une procédure itérative faisant intervenir une fonction intermédiaire donnée par :

$$f(Tx) = 1.006 * Tx + \frac{\varphi}{100} * PoidsS(Tx) * (2501 + 1.805 * Tx) - H_{SAT}$$

que l'on dérive par rapport à la température Tx :

$$f'(Tx) = 1.006 + \frac{\varphi}{100} * PoidsS'(Tx) * (2501 + 1.805 * Tx) + \frac{\varphi}{100} * PoidsS(T) * 1.805$$

PoidsS(Tx) est le poids d'eau à saturation à la température Tx.

1.006 est la capacité massique de l'air sec en kJ/(kg. °C).

2501 est la chaleur de vaporisation de l'air en kJ/kg.

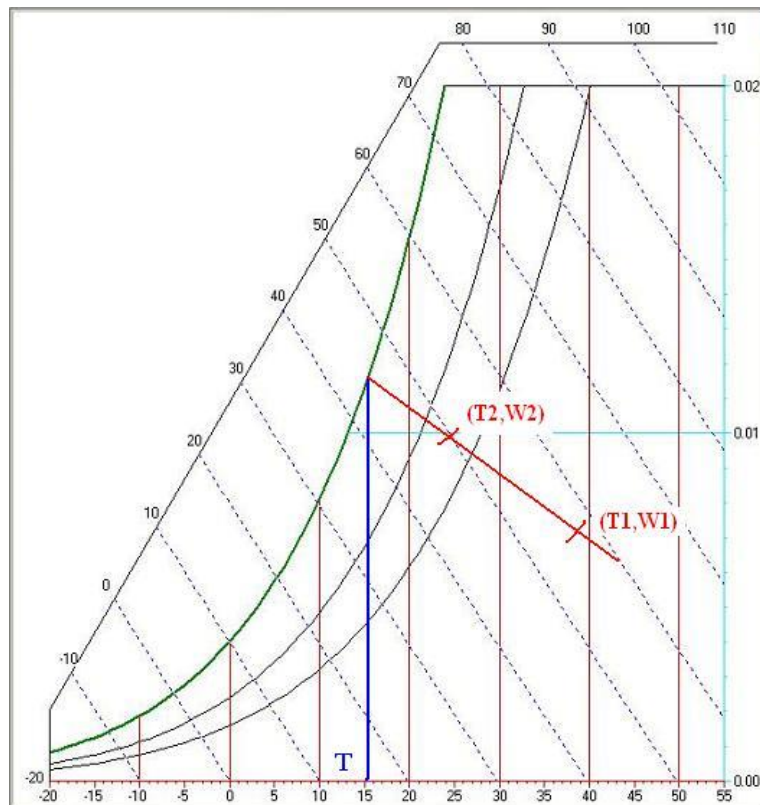
1.805 est la chaleur massique de la vapeur d'eau en kJ/kg.

On calcule alors la température T par approximations successives en partant arbitrairement de 20°C :

Tx = 20
Répéter
Ecart = -f(Tx) / f'(Tx)
Tx = Tx + Ecart
Jusqu'à convergence (Ecart < 0.001)
T = Tx

8.1.24. Température au point d'intersection d'une droite d'évolution et de la courbe de saturation

Deux points (T1,W1) et (T2,W2) étant donnés par leurs températures et leurs hygrométries (en kg/kg), on peut déterminer le point où la droite d'évolution joignant ces deux points coupe la courbe de saturation.



On utilise pour cela une fonction intermédiaire f :

$$f(T_x) = \text{PoidsS}(T_x) - W_1 - \frac{(W_1 - W_2) * (T_2 - T_1)}{T_x - T_1}$$

On dérive par rapport à la température Tx :

$$f'(T_x) = \text{PoidsS}'(T_x) - \frac{W_1 - W_2}{T_x - T_1}$$

PoidsS(T) est le poids d'eau à saturation à la température T.

On calcule alors la température T par approximations successives en partant arbitrairement de 20°C :

T_x = 20
Répéter
Ecart = -f(T_x) / f'(T_x)
T_x = T_x + Ecart
Jusqu'à convergence (Ecart < 0.001)
T = T_x

8.1.25. Poids d'eau en fonction de la température et de l'enthalpie

Soit R le rapport entre l'enthalpie sensible H_s et l'enthalpie latente H_L . Sur le diagramme, les lieux de R constant sont pratiquement des droites. Connaissant un point de cette droite caractérisé par une température T_0 et un poids d'eau W_0 , il est possible de trouver le poids d'eau W (en kg par kg) correspondant à une température T :

$$W = \frac{2490 * H_s * W_0 * H_L (T - T_0 - 1.96 * T_0 * W_0)}{2490 * H_s - 1.96 * H_L * T}$$

8.2. Les calculs spécifiques

8.2.1. Évolution

8.2.1.1. Évolution simple

Vous placez directement les points et il n'y a donc aucun calcul à faire dans ce cadre. Restent les calculs de débits. On commence par déterminer le débit d'air volumique. De par sa définition, il est calculé directement à partir du débit volumique nominal $\text{DebitV}_{\text{NOM}}$ (que vous avez saisi) et du volume spécifique de base défini précédemment :

$$\text{DebitM} = \frac{\text{DebitV}_{\text{NOM}}}{0.824107435}$$

Les débits massiques intérieur et sortant sont naturellement égaux au débit massique nominal. Il faut encore calculer les débits volumiques, ce qui est très simple puisqu'on sait calculer le volume spécifique de l'air en fonction de la température T , du poids d'eau W et de l'altitude A du site :

$$\text{DebitV}_{\text{INT}} = \frac{\text{DebitM}}{V_{\text{SPEC}}(T_{\text{INT}}, W_{\text{INT}}, A)}$$

$$\text{DebitV}_{\text{SORT}} = \frac{\text{DebitM}}{V_{\text{SPEC}}(T_{\text{SORT}}, W_{\text{SORT}}, A)}$$

8.2.1.2. Évolution après mélange

On commence par déterminer le débit d'air volumique. De par sa définition, il est calculé directement à partir du débit volumique nominal $\text{DebitV}_{\text{NOM}}$ (que vous avez saisi) et du volume spécifique de base défini précédemment :

$$\text{DebitM} = \frac{\text{DebitV}_{\text{NOM}}}{0.824107435}$$

Les caractéristiques du point de mélange (température, poids d'eau) découlent directement d'une règle de trois. On en déduit l'enthalpie du mélange.

Il faut encore calculer les débits volumiques, ce qui est très simple puisqu'on sait calculer le volume spécifique de l'air en fonction de la température T, du poids d'eau W et de l'altitude A du site :

$$\text{DebitV}_{\text{EXT}} = \frac{\text{DebitM}}{V_{\text{SPEC}}(T_{\text{EXT}}, W_{\text{EXT}}, A)}$$

8.2.2. Mode refroidissement sans déshumidification

8.2.2.1. Débits et hygrométrie

On commence par déterminer le débit d'air neuf volumique. De par sa définition, il est calculé directement à partir du débit volumique nominal $\text{DebitV}_{\text{NOM}}$ (que vous avez saisi) et du volume spécifique de base défini précédemment :

$$\text{DebitM} = \frac{\text{DebitV}_{\text{NOM}}}{0.824107435}$$

On peut alors calculer le débit volumique d'air extérieur. On l'obtient à partir du débit spécifique de l'air en fonction de la température T, du poids d'eau W et de l'altitude A du site :

$$\text{DebitV}_{\text{EXT}} = \frac{\text{DebitM}}{V_{\text{SPEC}}(T_{\text{EXT}}, W_{\text{EXT}}, A)}$$

On calcule également la température de soufflage, en ajoutant simplement à la température de sortie l'échauffement que vous avez saisi. Pour la suite du calcul, on distingue trois cas, déterminés par le type de complément.

8.2.2.1.1. Pas de complément ou complément par un système sec

On ne peut malheureusement poursuivre le calcul de façon simple car le débit massique et le poids d'eau intérieur dépendent l'un de l'autre, et il faut donc procéder par itérations.

$$\text{DebitM}_{\text{TOT}} = \frac{\text{Apport}_s}{H_s(T_{\text{INT}}, W_{\text{INT}}) - H_s(T_{\text{SOUFFL}}, W_{\text{SOUFFL}})} * 3.6$$

$H_s(T_{\text{INT}}, W_{\text{INT}})$ désigne l'enthalpie sensible au point intérieur et Apport_s la valeur des apports sensibles.

De ce débit massique on tire l'enthalpie intérieure :

$$H = H(T_{\text{SOUFFL}}, W_{\text{SOUFFL}}) + \frac{\text{Apport}_s + \text{Apport}_L}{\text{DebitM}_{\text{TOT}}} * 3.6$$

Apport_L désigne les apports latents.

Nos formules de base permettent alors de recalculer le poids d'eau intérieur en fonction de la température intérieure et de l'enthalpie que nous venons de déterminer. On compare le poids d'eau ainsi obtenu à celui utilisé au début de l'itération et on répète la procédure jusqu'à convergence, c'est-à-dire jusqu'à ce que la différence entre deux valeurs consécutives du poids d'eau intérieur ne dépasse pas 10^{-6} (kg/kg).

8.2.2.1.2. Complément par un système à air, éventuellement lui-même complété par un système sec

On calcule successivement, au moyen des formules exposées précédemment :

- $\dot{W}_{\text{air}} >$ Le débit massique d'air neuf (par règle de trois entre le débit massique total et le taux d'air neuf) ;
- $\dot{W}_{\text{air}} >$ Le débit massique d'air repris (par différence entre le débit massique total et le précédent) ;
- $\dot{W}_{\text{air}} >$ Le poids d'eau à la sortie du ventilo-convecteur, en estimant l'humidité relative à 95% ;
- $\dot{W}_{\text{air}} >$ Le poids d'eau intérieur à saturation.

Pour obtenir le poids d'eau intérieur, on écrit ensuite l'équation d'équilibre entre apports et débits d'air. On transforme cette équation en exprimant la masse de soufflage en fonction des apports latents et des poids d'eau intérieur et extérieur. Le poids d'eau intérieur intervient alors au numérateur et au dénominateur, ce qui débouche sur une équation du second degré. Ces formules sont assez peu digestes et le discriminant est même si touffu que nous avons choisi une résolution par approximations successives (!!). Nous vous renvoyons donc au fascicule [Centrales de traitement d'air](#) pour plus de détails. La procédure itérative s'écrit finalement comme suit :

$$W_x = 0.01$$

Répéter

$$\text{DebitM}_{\text{ÉCH}} = \frac{\text{Apport}_s + \text{DebitM} * (1.006 * (T_{\text{SOUFFL}} - T_{\text{INT}}) + 1.805 * (W_{\text{SOUFFL}} * T_{\text{SOUFFL}} - W_{\text{INT}} * T_{\text{INT}}))}{1.006 * (T_{\text{INT}} - T_{\text{VENTILO}}) + 1.805 * (W_{\text{INT}} * T_{\text{INT}} - W_{\text{VENTILO}} * T_{\text{VENTILO}})}$$

(pour un système mixte on multiplie $\text{DebitM}_{\text{ÉCH}}$ par la part du complément à air, que vous avez saisie)

$$W_{\text{INT}} = \frac{\text{Apport}_L / 2501 + \text{DebitM}_{\text{ÉCH}} * W_{\text{VENTILO}} + \text{DebitM} * W_{\text{SOUFFL}}}{\text{DebitM}_{\text{ÉCH}} + \text{DebitM}}$$

Si le poids d'eau calculé est inférieur au poids d'eau à la sortie du ventilo-convecteur, on exécute les deux lignes suivantes :

$$W_{x1} = W_x$$
$$W_x = (\text{Apport}_L / 2501 + \text{DebitM} * W_{\text{SOUFFL}}) / \text{DebitM}$$

Jusqu'à convergence ($|W_{x1} - W_x| < 10^{-8}$)

$$W_{\text{INT}} = W_x$$

On en déduit immédiatement les conditions de soufflage du ventilo-convecteur.

8.2.2.1.3. Complément par un système sec

On calcule successivement, au moyen des formules exposées précédemment :

- $C_{W_{H_2O}} >$ Le débit massique d'air neuf (par règle de trois entre le débit massique total et le taux d'air neuf);
- $C_{W_{H_2O}} >$ Le débit massique d'air repris (par différence entre le débit massique total et le précédent);
- $C_{W_{H_2O}} >$ Le poids d'eau intérieur à saturation.

Pour obtenir le poids d'eau intérieur, on écrit ensuite l'équation d'équilibre entre apports et débits d'air. On transforme cette équation en exprimant la masse de soufflage en fonction des apports latents et des poids d'eau intérieur et extérieur. Le poids d'eau intérieur intervient alors au numérateur et au dénominateur, ce qui débouche sur une équation du second degré. Ces formules sont assez peu digestes et le discriminant est même si touffu que nous avons opté pour une résolution par approximations successives (!!!). Nous vous renvoyons donc au fascicule [Centrales de traitement d'air](#) pour plus de détails. La procédure itérative s'écrit comme suit :

$$\begin{aligned} W_X &= 0.01 \\ \text{Répéter} \\ W_{X1} &= W_X \\ W_X &= (\text{Apport}_L / 2501 + \text{DebitM} * W_{\text{SOUFFL}}) / \text{DebitM} \\ \text{Jusqu'à convergence } (|W_{X1} - W_X| < 10^{-8}) \\ W_{\text{INT}} &= W_X \end{aligned}$$

2501 est la chaleur de vaporisation de l'air en kJ/kg.

8.2.2.2. Détermination de la centrale

On commence par vérifier que la température de sortie de l'échangeur est compatible avec les conditions de reprise et s'inscrit entre un minimum déterminé par le point de saturation (il ne doit pas y avoir de condensation dans l'échangeur) et un maximum fixé par les conditions de reprise. Les caractéristiques du mélange (poids d'eau et enthalpie) en sont immédiatement déduites par une règle de trois. Du poids d'eau et de l'enthalpie on tire enfin la température du mélange.

Il faut encore calculer l'efficacité de la batterie, et pour cela nous avons besoin de la température moyenne de l'eau dans la batterie. Elle est directement donnée par la procédure de base décrite plus haut comme intersection de la droite entrée-sortie avec la courbe de saturation.

Enfin, par définition, l'efficacité de la batterie est donnée par :

$$\text{Eff} = \frac{H_{\text{ENTRÉE}} - H_{\text{SORTIE}}}{H_{\text{ENTRÉE}} - H_{\text{MOYENNE}}}$$

8.2.3. Mode refroidissement avec déshumidification

Dans cette configuration il faut tout d'abord déterminer la température de soufflage. Elle est donnée par l'équation suivante :

$$T_{\text{SOUFFL}} = \frac{R * (1.006 + 1.805 * W_{\text{INT}}) * T_{\text{INT}} - 2501 * (W_{\text{INT}} - W_{\text{SOUFFL}})}{R * (1.006 + 1.805 * W_{\text{SOUFFL}})}$$

où R est le rapport Apports sensibles / Apports latents.

On en tire l'enthalpie de soufflage, et de là le débit massique de la centrale :

$$\text{DebitM} = \frac{\text{Apport}_s}{\text{Hs}_{\text{INT}} - \text{Hs}_{\text{SOUFFL}}} * 3.6$$

Puis on s'intéresse à la température de sortie de l'échangeur : elle est obtenue par une simple règle de trois entre la température extérieure et la température de reprise. On vérifie que la température obtenue n'est pas supérieure à la température extérieure (c'est-à-dire qu'on suppose que la reprise ne peut pas dégrader la situation) et qu'elle est au moins égale à la température de rosée calculée pour le poids d'eau extérieur. Le poids d'eau du mélange et son enthalpie sont obtenus eux aussi par règle de trois entre la reprise et l'extérieur, au prorata des débits massiques.

Il faut encore calculer l'efficacité de la batterie, et pour cela nous avons besoin de la température moyenne de l'eau dans la batterie. Elle est directement donnée par la procédure de base décrite plus haut, comme intersection de la droite entrée-sortie avec la courbe de saturation.

Enfin l'efficacité de la batterie est, par définition, donnée par :

$$\text{Eff} = \frac{\text{H}_{\text{ENTRÉE}} - \text{H}_{\text{SORTIE}}}{\text{H}_{\text{ENTRÉE}} - \text{H}_{\text{MOYENNE}}}$$

8.2.4. Déshumidification par chauffage terminal ou batterie

Il n'y a aucune difficulté dans ce cas. On détermine successivement le débit massique et les débits volumiques à partir des conditions de sortie du dispositif de déshumidification.

8.2.5. Déshumidification avec récupérateur de chaleur de type PMP

Il n'y a aucune difficulté. Les débits et le point de rosée sont directement obtenus à partir des formules de base.

8.2.6. Déshumidification avec récupérateur de chaleur de type PWT

Le point essentiel est ici le calcul des conditions de sortie de l'humidificateur. On connaît l'enthalpie d'entrée et la température de l'eau. C'est suffisant pour écrire une procédure itérative simple, où la convergence est représentée par l'équilibre entre la température de l'eau et les conditions de sortie (T_{SORT} , W_{SORT} , H_{SORT}) :

$$\begin{aligned} H_{\text{SORT}} &= H_{\text{ENTR}} \\ W_{\text{SORT}} &= W_{\text{ENTR}} \\ \text{Répéter} \\ W_X &= W_{\text{SORT}} \\ H_{\text{SORT}} &= H_{\text{ENTR}} + W_X * 4.186 * T_{\text{EAU}} \\ \text{[On calcule ensuite } T_{\text{SORT}} \text{ et } W_{\text{SORT}} \text{ avec les procédures de base.]} \\ \text{Jusqu'à convergence (} |W_{\text{SORT}} - W_X| &< 10^{-8} \text{)} \\ W_{\text{INT}} &= W_X \end{aligned}$$

La suite du calcul ne présente pas de difficultés.

8.2.7. Le calcul en chaud

Il s'agit d'un calcul itératif. En pratique il est effectué au maximum trois fois, la convergence étant atteinte à ce stade.

Lorsque l'humidité n'est pas contrôlée, il faut commencer par calculer le poids d'eau intérieur :

$$W_{INT} = \frac{\text{Apport}_L}{2501 * \text{DebitM}} * 3.6 + W_{EXT}$$

On vérifie ensuite que le point intérieur n'est pas situé au-delà de la courbe de saturation, puis, dans l'hypothèse où la CTA assure seule le chauffage, on passe au calcul du débit massique d'air neuf. Il doit permettre de compenser les déperditions :

$$\text{DebitM}_{NEUF} = \frac{\text{Deperd}}{H_S(T_{SORT} - dT_{SOUFFL}, W_{SORT}) - H_S(T_{INT}, W_{INT})} * 3.6$$

On recalcule ensuite le taux d'air neuf (en faisant le rapport des débits massiques) afin d'assurer la cohérence avec le calcul été.

Les caractéristiques du mélange (température, poids d'eau, enthalpie) sont déterminées par des règles de trois. On vérifie que la température de l'air après échangeur ne fait pas dépasser la courbe de saturation.

On vérifie ensuite que le poids d'eau de sortie respecte simultanément le poids d'eau du mélange et les conditions intérieures :

$$W_{SORT} = \text{Max}(H_{MEL}, H_{INT} - \frac{\text{Apport}_L}{2501 * (\text{DebitM}_{INT} - \text{DebitM}_{EXT})} * 3.6)$$

On calcule enfin le poids d'eau de préchauffage :

$$W_{PRECH} = W_{INT} - \frac{(W_{INT} - W_{EXT}) * \text{DebitM}_{EXT}}{\text{DebitM}_{INT} + \text{DebitM}_{EXT}}$$

8.2.7.1. Le calcul sans humidification ou avec laveur

Le calcul tourne autour de l'enthalpie, la formule générale étant :

$$H = H(T_{SORT}, W_{SORT}) - (W_{SORT} - W_{PRECH}) * 4.186 * T_{EAU}$$

8.2.7.2. Humidification avec vapeur

Le calcul tourne autour de l'enthalpie, la formule générale étant :

$$H = H(T_{SORT}, W_{SORT}) - (W_{SORT} - W_{PRECH}) * 4.186 * T_{VAPEUR}$$

9. Questions et réponses

Q: Je ne retrouve plus la belle étude de déshumidification que j'avais réussie tout à l'heure ! Elle n'apparaît pas dans la liste des centrales.

R: Pas de panique, vous êtes peut-être simplement tombé(e) dans un piège. Chaque centrale peut contenir jusqu'à quatre diagrammes (évolution, chauffage, refroidissement, déshumidification). Sans doute avez-vous, dans le cadre d'une même centrale, étudié plusieurs diagrammes ?

The screenshot shows the ClimWin software interface. A central dialog box titled "Sélection de la centrale à ouvrir" is open, listing three central units: "1 - Centrale N° 1", "2 - Centrale n° 2", and "3 - Centrale n° 3". The background displays a psychrometric chart with various lines and points. A red box highlights the "Sortir" button in the dialog. A black arrow points from the "Sortir" button to the "Points de fonctionnement" table on the right. Another black arrow points from the "Evolution" tab in the "Caractéristiques calculées de la centrale" section to the "Points de fonctionnement" table.

Caractéristiques calculées de la centrale
Batterie 1348 W Sensible 733 W Latent 615 W

Refroidissement / Chauffage / Evolution / Déshumidification /

	Intérieur	Sortie			
t	20.87	14.05			
r	0.01452	0.00723			
théta r	19.18	8.62			
théta h	23.92	11.38			
phi	97.63	65.69			
h	73.336	33.344			
v	8.825	6.825			
Débit	113.07	104.22			
Masse	121.34	121.34			

	Caractéristique	Valeurs
1	Appellation	Centrale n° 2
2	Domaine d'étude	Mode évolution
3	Mode d'évolution	Évolution simple
34	Débit d'air nominal	100.0 m³/h

En ouvrant la centrale « Centrale n° 2 », vous obtenez à l'écran l'un des diagrammes étudiés dans le cadre de cette CTA (ici une droite d'évolution). Mais si vous avez également procédé pour cette même CTA à une étude de déshumidification, il vous faut cliquer sur l'onglet approprié pour la faire apparaître. L'étude de déshumidification n'apparaît pas indépendamment dans la liste des centrales !

Q: D'où vient le décalage entre le diagramme de ClimWin et mon vieux diagramme psychro-métrique sur papier ?

R: Les diagrammes sur papier ne tiennent pas compte de l'altitude. Pour donner une idée de l'ordre de grandeur du biais ainsi introduit, rappelons que l'eau bout à 100°C au niveau de la mer et à 96°C à 1000 m d'altitude.

Q: Le calcul ne se fait pas.

R: Certains systèmes ne peuvent fonctionner qu'avec des plages de valeurs très étroites et il est possible que la configuration qu'on vous demande d'étudier ne soit pas valide. Déplacez les points jusqu'à ce que vous obteniez un calcul puis voyez à quel moment cette solution cohérente devient irréalisable.