



## **ET 910**

# **Cours portant sur le génie frigorifique**

Formation en génie frigorifique:  
planifier, assembler et tester différentes configurations d'installations frigorifiques

Le système d'exercices pour un cours orienté d'après la pratique

## Conception didactique et objectifs didactiques

En offrant une sélection très complète de composants du génie frigorifique, le système d'exercices modulaire permet d'effectuer différents montages des circuits de l'agent réfrigérant. Les essais permettent de travailler de manière didactique sur des solutions et problèmes pratiques du génie frigorifique.

En proposant des essais en lien étroit avec la pratique, le système d'exercices accompagne de manière optimale les champs d'apprentissage de la formation de mécatronicien pour le génie frigorifique. L'utilisation de mesures de température permet d'étendre les possibilités d'essai. Ainsi, l'appareil offre divers essais qualitatifs et peut donc être utilisé avec beaucoup de succès dans le cadre de la formation universitaire appliquée pour les essais pratiques dans le domaine de la technique énergétique/du génie frigorifique.

En combinant les différents composants inclus, de nombreux montages du génie frigorifique industriel peuvent être simulés. En intégrant des dérivations, on peut mettre facilement en évidence le comportement du système avec ou sans l'utilisation d'un composant spécifique. Cela permet de comprendre de manière durable la façon dont les composants fonctionnent ensemble.

Le système d'exercices est idéal pour les travaux autonomes en groupes de deux ou trois apprentis ou étudiants. Contrairement aux montages expérimentaux avec tuyauterie fixe, on peut ici modifier facilement et rapidement le circuit frigorifique, et observer immédiatement les effets que cela produit. Cette observation directe assure un succès d'apprentissage durable. Les apprentis/étudiants tirent un bénéfice immédiat du fait de pouvoir réaliser de manière autonome un système réel et fonctionnel à partir du diagramme du système.

Le système d'exercices ET 910 utilise des composants industriels standard du génie frigorifique. Ce qui permet de les identifier facilement et d'assurer un lien étroit avec la pratique. Les composants ont été sélectionnés de telle manière à couvrir le plus grand nombre possible de thématiques de l'apprentissage.

Grâce à l'utilisation de plaques modulaires, on peut réaliser les essais de manière flexible et claire. L'utilisation de tuyaux pouvant être fermés minimise les pertes d'agent réfrigérant lorsque l'on modifie le montage de l'essai.

Aujourd'hui encore, les clients nous disent qu'ils appliquent les connaissances qu'ils ont acquises avec l'ET 910, même des années plus tard, lorsqu'il s'agit de comprendre des systèmes complexes.

### Couverture des champs d'apprentissage dans le cadre de la formation de mécatronicien frigoriste par le travail expérimental avec le système d'apprentissage ET 910

Génie frigorifique	Génie climatique	Électrotechnique en génie frigorifique et génie climatique
Liens fonctionnels dans le circuit frigorifique	Étude des états de l'air	Bases de l'électrotechnique
Fabrication de systèmes partiels mécaniques	Liens fondamentaux en ventilation et climatisation	Consommateurs sur le courant alternatif monophasé
Thermodynamique, diagramme log p,h	Éléments de construction et fonctionnement de l'installation de climatisation	Protection contre les risques électriques
Agents réfrigérants et lubrifiants	Climatisation, diagramme h,x	Commandes simples en génie frigorifique
Régulateurs primaires et secondaires	Circuit d'air dans le système de conduits	Consommateurs sur le courant alternatif triphasé
Échangeurs de chaleur	Mesures d'ignifugation	Entraînements électriques et recherche de pannes
Compresseurs	Économie d'énergie	Régulation d'installations frigorifiques
Tuyauterie		Automatisation de bâtiments
Dépannage, maintenance et élimination		

■ applicable pour le système d'exercice ET 910

### Gamme d'essais

#### Différents éléments d'expansion – fonctionnement et caractéristiques

- vanne à main comme élément d'expansion
- soupape de détente régulée par pression
- tube capillaire
- soupape de détente thermostatique avec compensation interne de la pression

#### Différentes régulations de température – fonctionnement et caractéristiques

- régulation de température d'évaporation via un régulateur de pression d'évaporation KVP (étape de refroidissement normale)
- régulation de température de la chambre froide via un thermorupteur avec commande de compresseur
- régulation de température de la chambre froide via un régulateur de température électrique avec commande de compresseur

#### Différentes régulations de puissance – fonctionnement et caractéristiques

- régulateur de puissance KVC
- régulateur de puissance KVC avec vanne de réinjection
- régulateur de réfrigération électrique avec électrovanne et commande pump-down

#### Différentes commandes de dégivrage dans le domaine de la congélation – fonctionnement et caractéristiques

- mise à l'arrêt du compresseur via une horloge de commutation de dégivrage
- mise à l'arrêt du compresseur via un thermostat d'évaporation
- chauffage de dégivrage électrique via une horloge de commutation de dégivrage
- dégivrage par gaz chauds via une vanne d'inversion et une horloge de commutation de dégivrage

#### Différentes extensions pour le circuit frigorifique – fonctionnement et caractéristiques

- influence d'un échangeur de chaleur – surrefroidissement et surchauffe
- démarrage de compresseur sans pression via une soupape de dérivation avec retard
- régulation de pression d'aspiration via un régulateur de démarrage KVL
- séparateur de liquides dans la conduite d'aspiration
- fonctionnement avec ou sans collecteur

#### Différentes extensions pour le circuit frigorifique – dépannage et maintenance

- ouvrir le circuit frigorifique avec le déplacement d'agent frigorifique
- ouvrir le circuit frigorifique avec vider par aspiration de l'agent réfrigérant
- évacuer le circuit frigorifique
- remplir le circuit frigorifique
- recherche des fuites
- ajuster les thermostats et les régulateurs
- vérifier le fonctionnement électrique

## ET 910 – ET 910.13 Construction du système d'exercices

### Construction modulaire de l'appareil

Le système d'exercices en génie frigorifique, unité de base ET 910 associé aux unités supplémentaires:

- ET 910.05 Poste de travail/laboratoire en génie frigorifique,
- ET 910.10 Composants frigorifiques pour des essais de base,
- ET 910.11 Composants frigorifiques pour essais complémentaires,
- ET 910.12 Jeu d'accessoires et
- ET 910.13 Kit de maintenance

représente un système modulaire d'installation frigorifique à compression.

La version de base permet déjà d'expérimenter de nombreuses problématiques. Le système peut être complété par l'ET 910.11 et l'ET 910.13 pour une étude plus approfondie de la thématique.

L'aspect modulaire de l'installation permet aux apprentis/étudiants d'effectuer eux-mêmes des montages de circuits frigorifiques plus ou moins complexes. Les différents composants sont reliés entre eux par des flexibles. Grâce à la modularité, des systèmes multi-utilisateurs peuvent également être montés à faible coût.

### Version de base ET 910.10

#### Principes de base du circuit frigorifique

- circuit frigorifique simple, composé d'un compresseur, d'un condenseur, d'un réservoir, d'un filtre/sécheur, d'une soupape de détente, d'un évaporateur
- fonctionnement des différents composants
- pressions et températures dans le cycle
- comportement avec différentes charges de refroidissement
- comportement avec différentes températures de la chambre froide
- comportement avec différents débits massiques

#### Observations approfondies du circuit frigorifique

- fonctionnement de l'évaporateur (pression d'évaporation, surchauffe)
- différence évaporateur ventilé/non ventilé, formation de givre dans l'évaporateur
- fonctionnement du condenseur et du réservoir (pression de condensation)
- fonctionnement de l'échangeur de chaleur, surrefroidisseur/surchauffeur
- fonctionnement du séparateur de liquide
- effet des pertes de charge dans le système de tuyauterie, simulation au moyen d'une soupape manuelle
- effets du sur-/sous-remplissage
- fonctionnement du filtre/sécheur et voyant
- raccordement électrique d'un consommateur

#### ET 910 Système d'exercices en génie frigorifique, unité de base



#### ET 910.05 Poste de travail/laboratoire en génie frigorifique



#### ET 910.12 Jeu d'accessoires



#### ET 910.10 Composants frigorifiques pour des essais de base



Équipement minimal pour un poste de travail fonctionnel, composé de **ET 910** Système d'exercices en génie frigorifique, unité de base, **ET 910.10** Composants frigorifiques pour des essais de base, **ET 910.05** Poste de travail/laboratoire en génie frigorifique et **ET 910.12** Jeu d'accessoires.

### Jeu complémentaire ET 910.11

#### Régulateurs primaires et secondaires dans le circuit frigorifique

- différents éléments d'expansion: soupape d'étranglement manuelle, tube capillaire, soupape de détente régulée par pression, soupape de détente thermostatique.
- divers régulateurs de puissance: régulateur de pression d'évaporation KVP, régulateur de démarrage KVL, régulateur de puissance KVC avec vanne de réinjection, thermostat électrique avec électrovanne, régulateur de réfrigération avec électrovanne
- commande pump down du compresseur
- démarrage déchargé du compresseur grâce à une soupape de dérivation temporisée

- chauffage de dégivrage électrique avec horloge de commutation de dégivrage
- dégivrage par gaz chauds avec vanne d'inversion à 4 voies et horloge de commutation de dégivrage

#### Commandes électriques simples issues du génie frigorifique

- maîtrise des principes de base de la technique de commande
- réalisation de tâches du génie frigorifique: régulation thermostatique, verrouillage, mode alterné, circuit de temporisation, régulateur de réfrigération électronique

#### ET 910.11 Composants frigorifiques pour essais complémentaires



Essais supplémentaires avec des régulateurs primaires et secondaires dans le circuit frigorifique. Des composants électriques permettent également de réaliser des tâches du domaine de l'électrotechnique.

### Kit de maintenance ET 910.13

#### Dépannage et entretien

- vider et évacuer l'installation
- remplir l'installation et vérifier l'étanchéité
- ouvrir l'installation avec déplacement de l'agent réfrigérant/pump-down
- ajuster les soupapes de détente, thermostats et régulateurs de pression

Le kit de maintenance comprend pour principalement

- une sélection d'outils
- un détecteur de fuite
- un multimètre
- un dispositif de remplissage et d'évacuation

#### ET 910.13 Kit de maintenance



Pour le remplissage et la vidange du système. Un kit de maintenance ET 910.13 unique peut être utilisé pour plusieurs postes de travail. Il permet également d'effectuer des opérations d'entretien et de dépannage.

## Vue d'ensemble des composants modulaires

## ET 910.10 Jeu de composants pour les essais de base

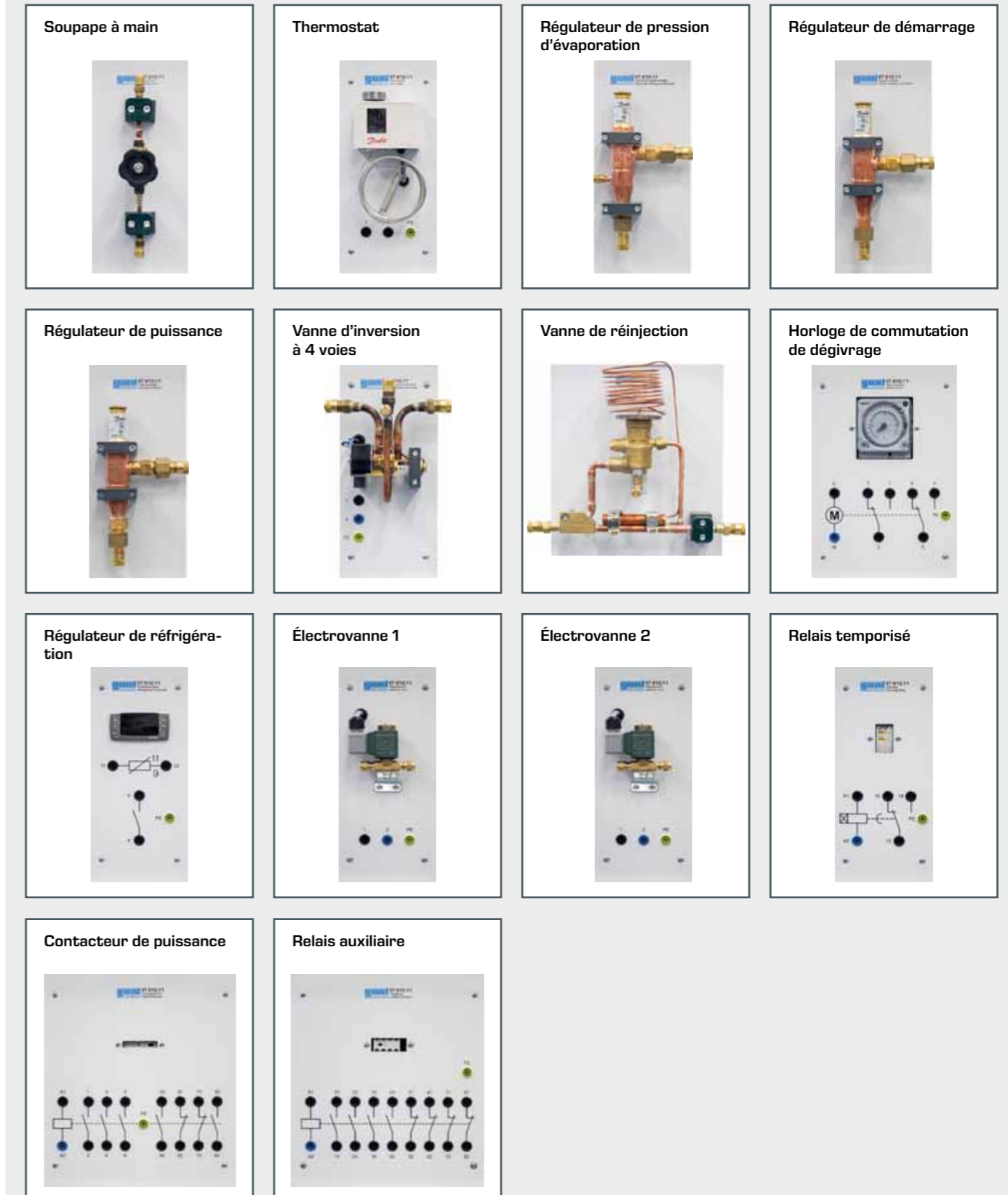


## ET 910.12 Jeu d'accessoires



Le jeu d'accessoires ET 910.12 est nécessaire pour le raccordement hydraulique et électrique des composants entre eux et avec l'unité de base. Il contient des flexibles de l'agent réfrigérant de différentes longueurs et diamètres (en partie avec des robinets d'arrêt), un filtre pour agent réfrigérant/sécheur de remplacement, des pièces en T, des pièces d'accouplement et des câbles de laboratoire. Deux tubes capillaires de longueurs différentes, deux distributeurs et une longueur suffisante de tube isolant sont également inclus.

## ET 910.11 Jeu de composants pour les essais complémentaires



## Exemples de montages expérimentaux

Quelques montages expérimentaux intéressants sont présentés à titre d'exemples ci-après, qui peuvent être réalisés avec le système d'exercices:

- circuit frigorifique simple avec compresseur, condenseur, soupape de détente thermostatique et évaporateur
- comprendre le fonctionnement d'un régulateur de pression d'aspiration dans le circuit de l'agent réfrigérant
- procédé de dégivrage par gaz chauds avec une vanne d'inversion à quatre voies

Avant de démarrer les travaux pratiques avec le système d'exercices, les apprentis / étudiants apprennent à lire et à comprendre les diagrammes des systèmes de génie frigorifique ou les schémas de processus et les schémas de câblage simples.

En associant les différents composants requis pour les essais, l'élève peut se familiariser avec les composants réels du génie frigorifique qui font partie des diagrammes du système.

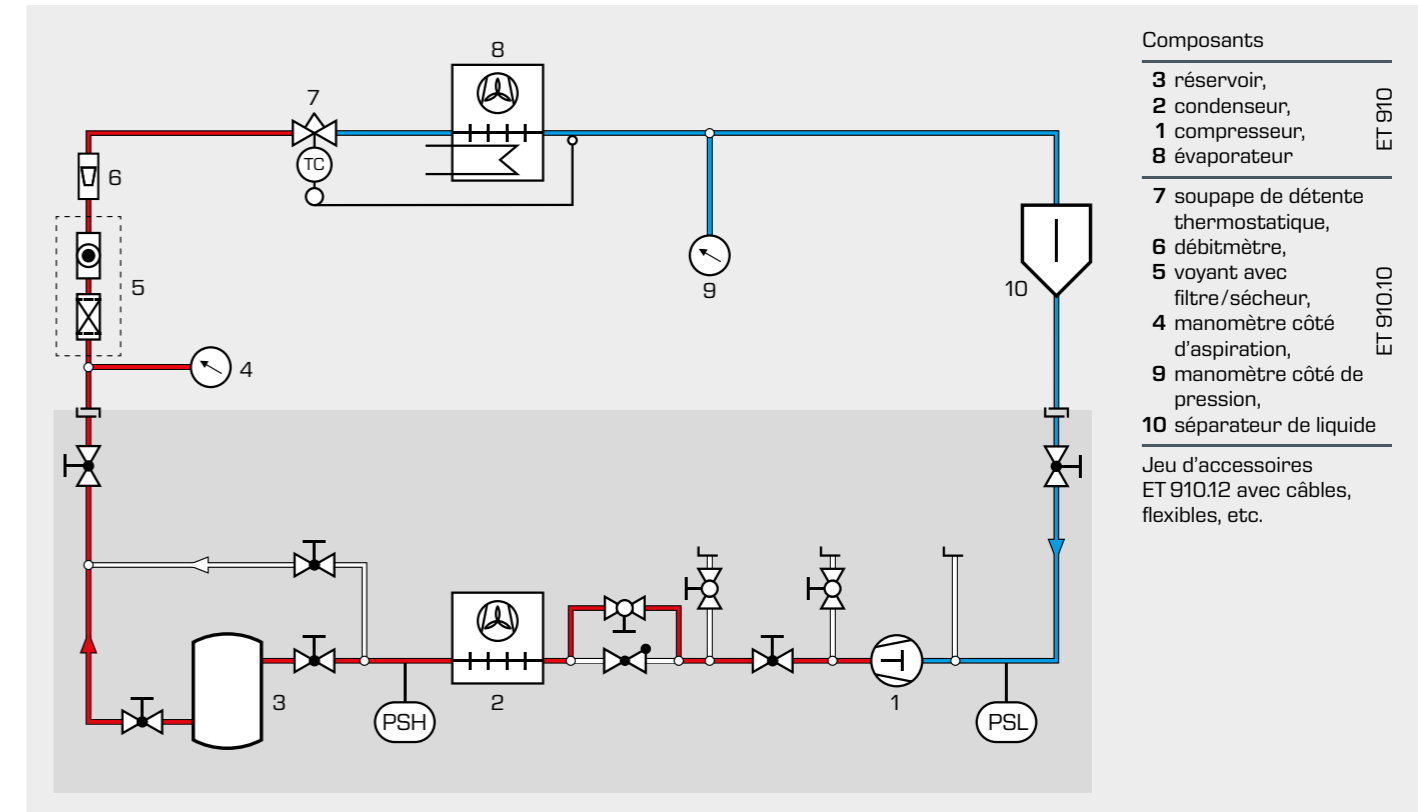
Lors de la mise en service, des activités pratiques telles que l'évacuation, le remplissage et la vérification d'étanchéité sont effectuées. Cela permet de mettre en pratique la réglementation et les règles applicables. Au cours de l'essai final, les élèves

peuvent véritablement saisir la manière dont fonctionne l'installation. Le fonctionnement est optimisé par l'ajustage des régulateurs et des éléments d'expansion. Il est possible de démontrer l'impact d'influences extérieures, comme par exemple la variation de la charge thermique sur l'évaporateur.



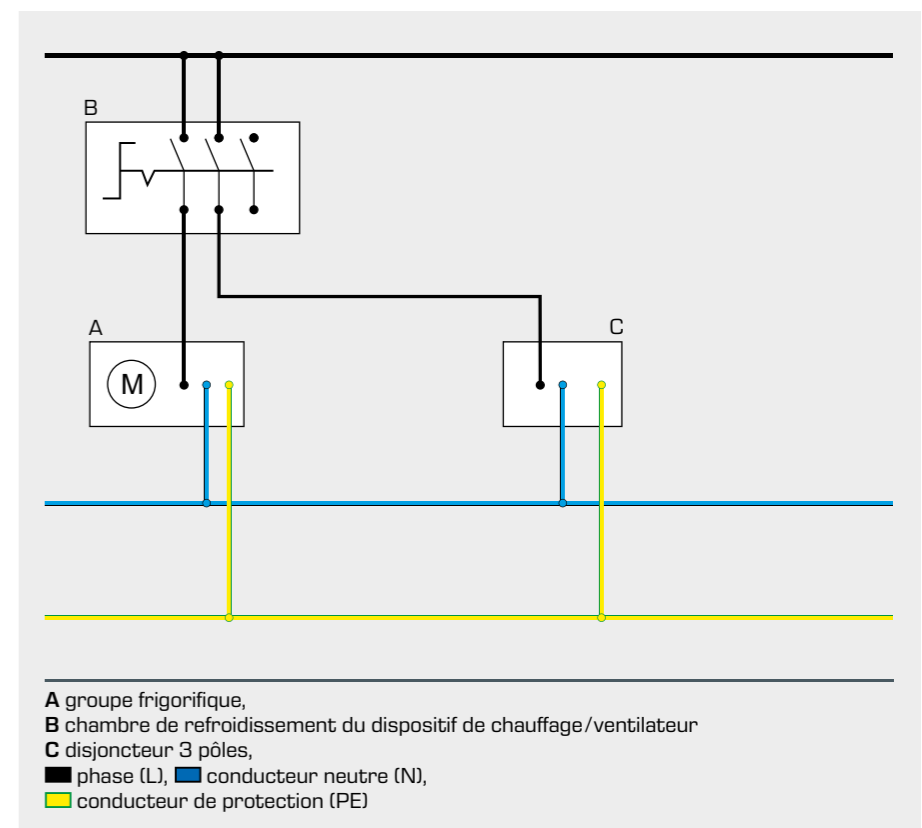
Poste de travail de laboratoire avec unité de base et composants pour essais de base

## Exemple: circuit frigorifique simple avec soupape de détente thermostatique



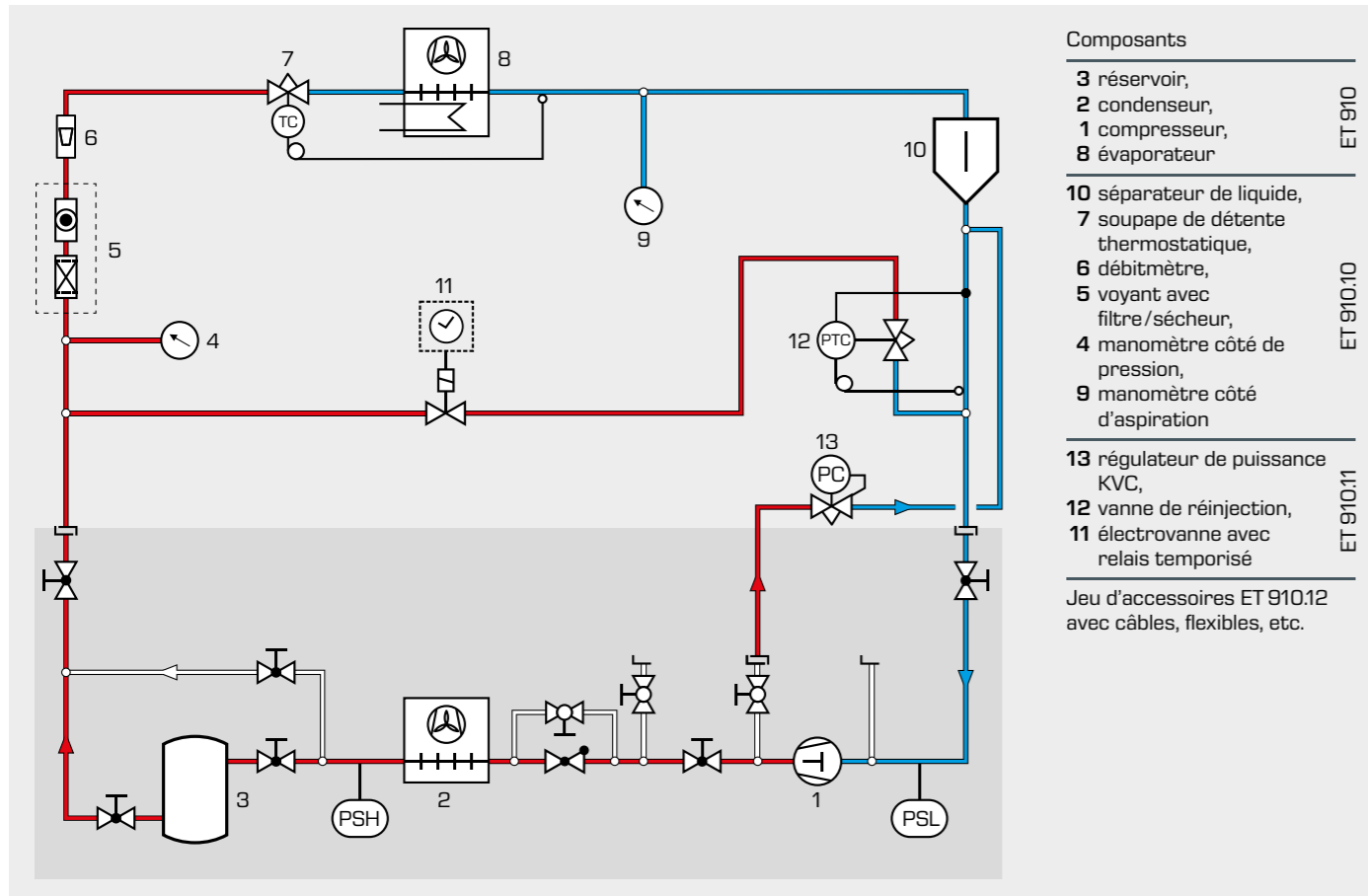
Dans cet essai initial, un circuit frigorifique simple composé d'un groupe frigorifique (compresseur 1, condenseur 2, réservoir 3), d'une chambre de refroidissement avec évaporateur 8, d'une soupape de détente thermostatique 7 et d'un voyant avec filtre/sécheur 5 est installé.

Le comportement de régulation de la soupape de détente est observé au niveau du débitmètre 6. Les manomètres 4 et 9 permettent d'obtenir un aperçu des rapports de pression dans le circuit. Les apprentis/étudiants se familiarisent avec les éléments et le fonctionnement du circuit frigorifique. La transformation d'état de l'agent réfrigérant peut être suivie grâce aux mesures de pression et de température et être saisie dans le diagramme log p,h. Le ressenti des températures avec la main permet de mieux comprendre les processus.

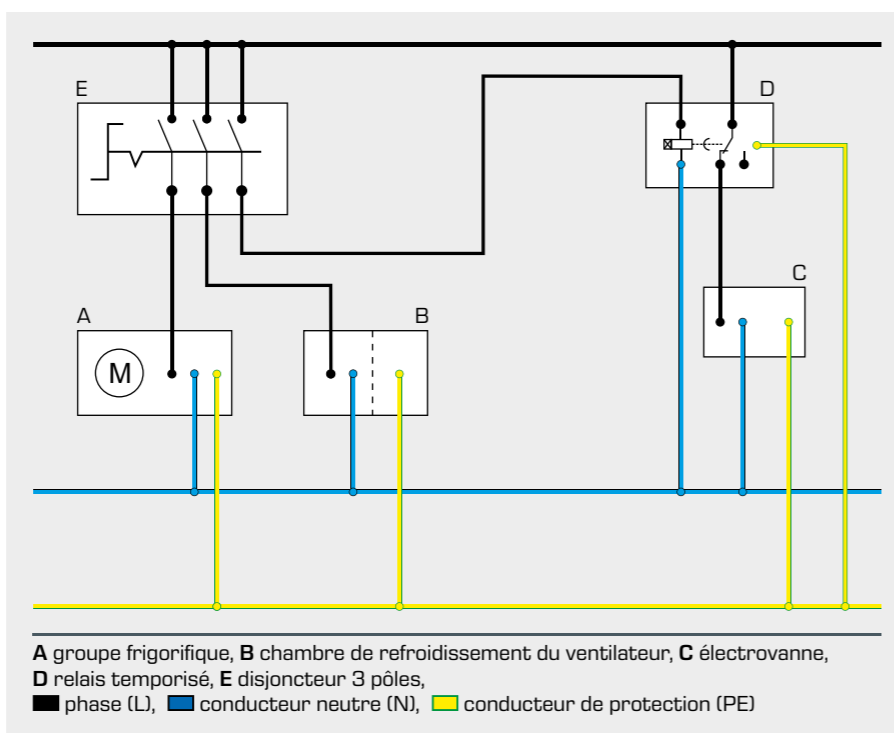


## Exemples de montages expérimentaux

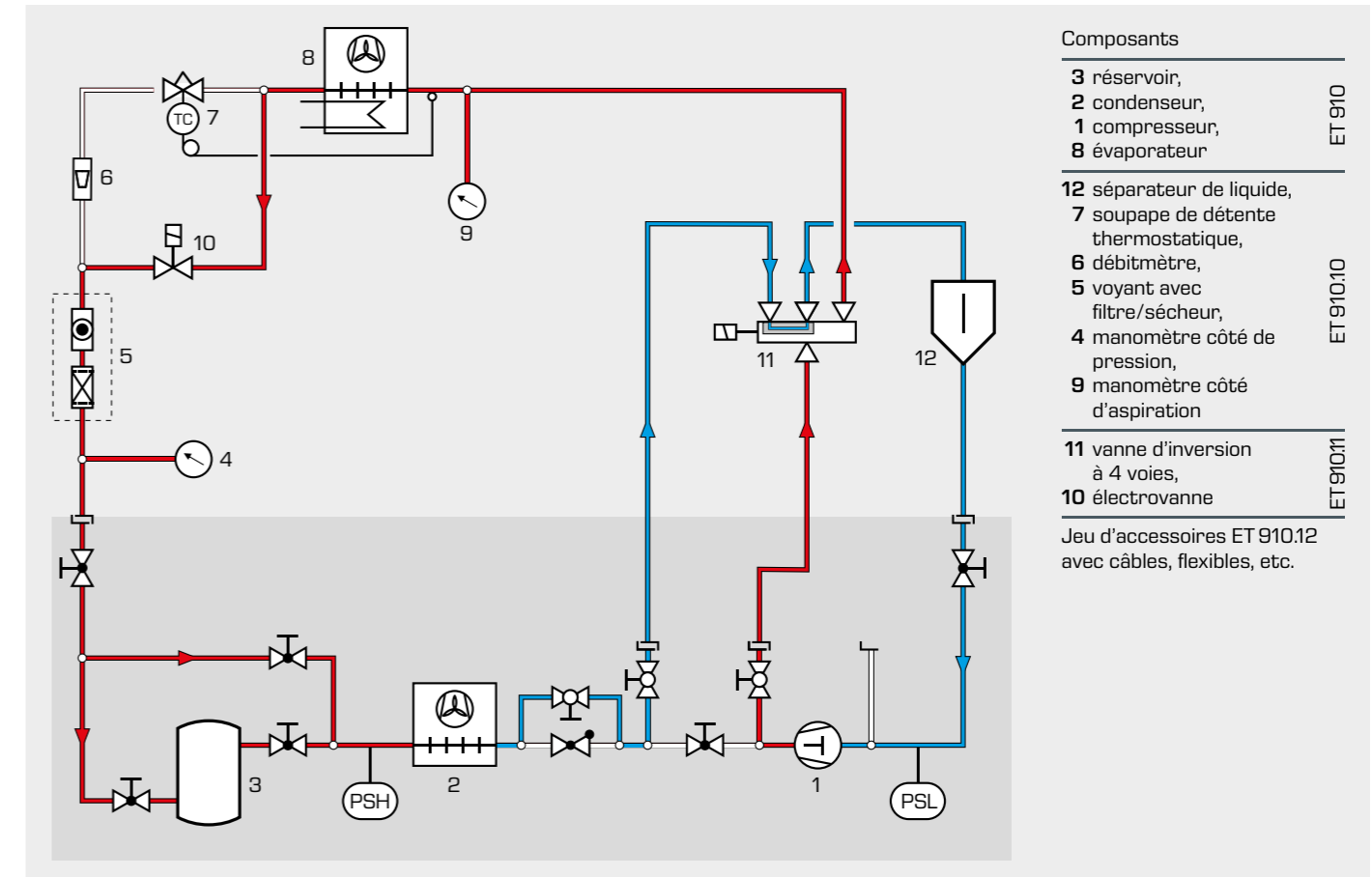
## Exemple: régulation de puissance avec réinjection



Cet essai montre un type de régulation de puissance sur les installations de grande taille. Alors que la puissance des petites installations est généralement commandée par le fonctionnement marche/arrêt du compresseur, un régulateur de puissance KVC **13** est utilisé sur les grandes installations. Le KVC permet un refoulement partiel du gaz comprimé vers le côté aspiration lorsque la différence de pression entre le côté de pression et le côté d'aspiration du compresseur est trop importante. Cela permet de réduire le débit massique réel d'agent réfrigérant. Pour éviter ici toute surchauffe du compresseur, une petite quantité d'agent réfrigérant liquide est injectée directement dans la conduite d'aspiration via la vanne de réinjection **12**. L'agent réfrigérant s'évapore immédiatement et refroidit ainsi le gaz aspiré. La réinjection peut être volontairement désactivée au moyen de l'électrovanne **11**, ce qui permet d'observer immédiatement l'effet que cela produit.

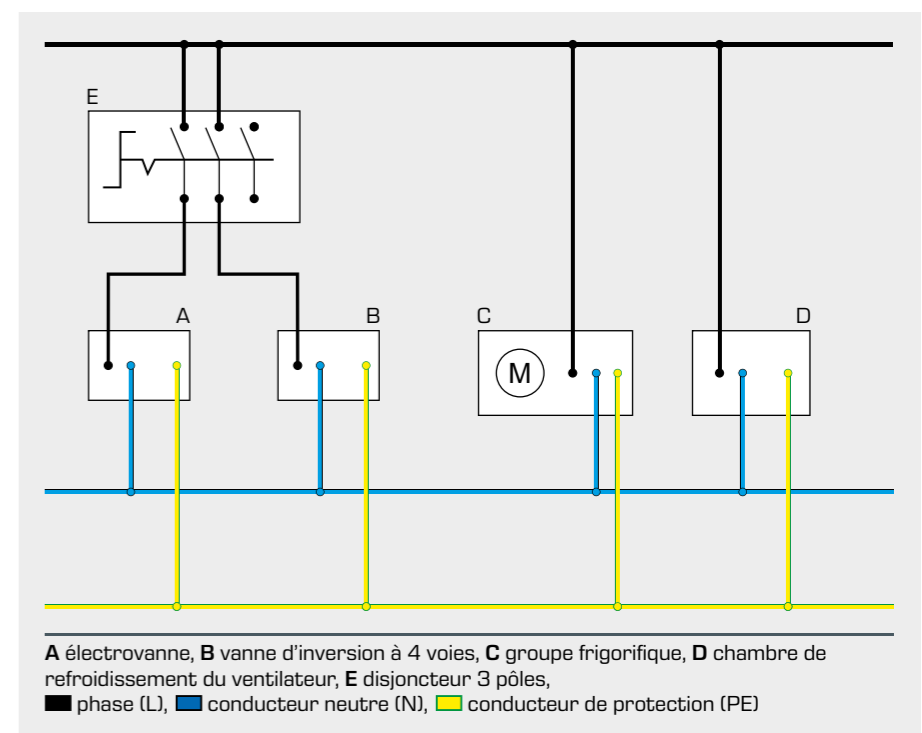


## Exemple: procédé de dégivrage par gaz chauds avec une vanne d'inversion à 4 voies



Lorsque la température de l'évaporateur est inférieure à 0°C, par exemple dans les installations de congélation, l'air est refroidi en dessous de sa température de point de rosée, ce qui provoque la fuite de condensat et son gel à la surface de l'évaporateur. Cette couche de glace entrave le transfert de chaleur convectif et réduit la surface de transfert de chaleur. En plus de l'option de chauffage de dégivrage temporisé, l'ET 910 offre également la possibilité d'un dégivrage par gaz chauds.

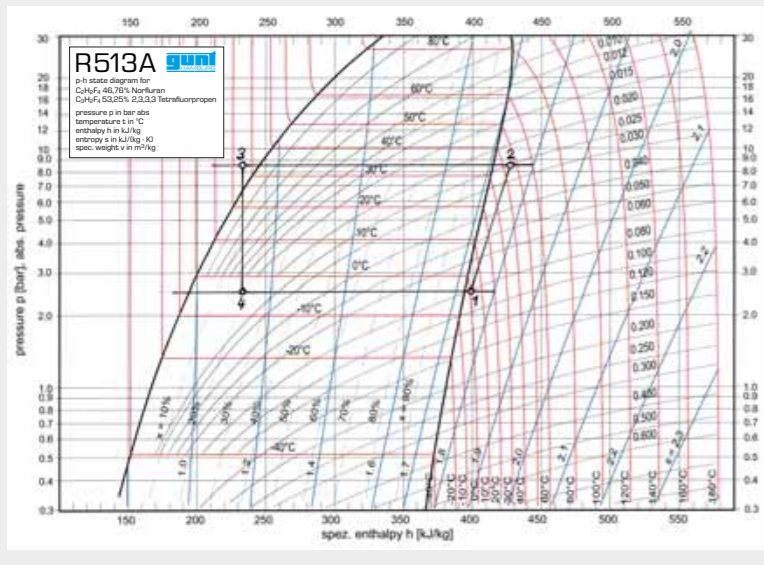
La fonction de l'évaporateur **8** et celle du condenseur **2** sont permutées au moyen d'une vanne d'inversion à 4 voies **11**, ce qui inverse le sens d'écoulement de l'agent réfrigérant. L'évaporateur gelé reçoit à présent le gaz chaud directement de la sortie du compresseur et dégivre de manière très efficace.



# Résultats des essais

Mesure	1	2	3
Observation			
Pression d'évaporation $p_{ev}$ en bar	1.5	1.9	2.1
Pression de condensation, valeur absolue $p_{ca}$ en bar	2.5	2.9	3.1
Température d'évaporation en °C (relevée sur le manomètre)	-4.0	0.0	2.0
Pression de condensation $p_{ca}$ en bar	7.5	7.2	6.7
Pression de condensation, valeur absolue $p_{ca}$ en bar	8.5	8.2	7.7
Température de condensation en °C (relevée sur le manomètre)	33.5	32.0	30.0
Température $T_1$ en °C sortie compresseur	45.6	42.3	43.0
Température $T_2$ en °C devant la valve d'expansion	24.8	24.0	22.5
Température $T_3$ en °C entrée évaporateur	-2.5	0.5	1.0
Température $T_4$ en °C sortie évaporateur	-1.2	2.5	5.0
Température $T_5$ en °C entrée compresseur	0.4	6.0	8.8
Débit massique d'agent réfrigérant en kg/h	23	28	30

Enregistrement des valeurs de mesure sur une installation frigorifique



Inscription de valeurs de mesure dans le diagramme log p,h et traçage d'un cycle

En mesurant les pressions et les températures, le fonctionnement des différents composants du circuit frigorifique peut être examiné en détail.

Le fait d'observer les transformations d'état provoquées par les composants que l'on a soi-même positionnés, permet d'assimiler de manière durable le principe de fonctionnement des composants du génie frigorifique. En plus de l'exercice pratique consistant à effectuer correctement une mesure de température (position de mesure correcte et bon contact du capteur avec la conduite) ou à lire dans les règles de l'art des valeurs sur un manomètre, la question de l'état stationnaire de l'installation est également traitée.

En reportant les valeurs de mesure dans le diagramme log p,h, on peut représenter le cycle graphiquement. Le diagramme log p,h, qui est essentiel en génie frigorifique, permet de bien comprendre le principe de fonctionnement des principaux composants et d'en discuter de manière approfondie.

La notion abstraite d'enthalpie est illustrée à l'aide d'un bilan des flux énergétiques échangés. Le diagramme log p,h permet également d'expliquer des propriétés fondamentales des mélanges de phases, de la condensation et de l'évaporation.

Mesure	1	2	3
<b>Enthalpies (lecture sur le diagramme log p,h)</b>			
$h_1$ en kJ/kg	398	402	405
$h_2$ en kJ/kg	428	426	428
$h_3$ en kJ/kg	233	229	228
$h_4$ en kJ/kg	233	229	228
<b>Différences d'enthalpies</b>			
$h_1 - h_2$ en kJ/kg	-165	-173	-176
$h_2 - h_3$ en kJ/kg	-195	-197	-200
Débit massique $m$ en kg/h	23	28	30
<b>Calcul de la puissance</b>			
Puissance des compresseurs $P_c = \frac{m \cdot (h_2 - h_1)}{3600}$ en kW	1.054	1.343	1.466
Puissance de condensation $P_c = \frac{m \cdot (h_2 - h_3)}{3600}$ en kW	1.245	1.532	1.666
<b>Coefficient de performance théorique</b>			
$\epsilon = \frac{P_2}{P_1 - P_2}$	5.49	7.18	7.33

Calcul des flux énergétiques et détermination du coefficient de performance

Les flux énergétiques peuvent être déterminés par des calculs thermodynamiques simples. Le calcul du coefficient de performance permet de se prononcer sur l'efficacité de l'installation construite; il peut être modifié de manière ciblée en utilisant différents composants. De plus, l'influence des charges thermiques ou du rapport de pression sur le coefficient de performance est illustrée de manière très claire.

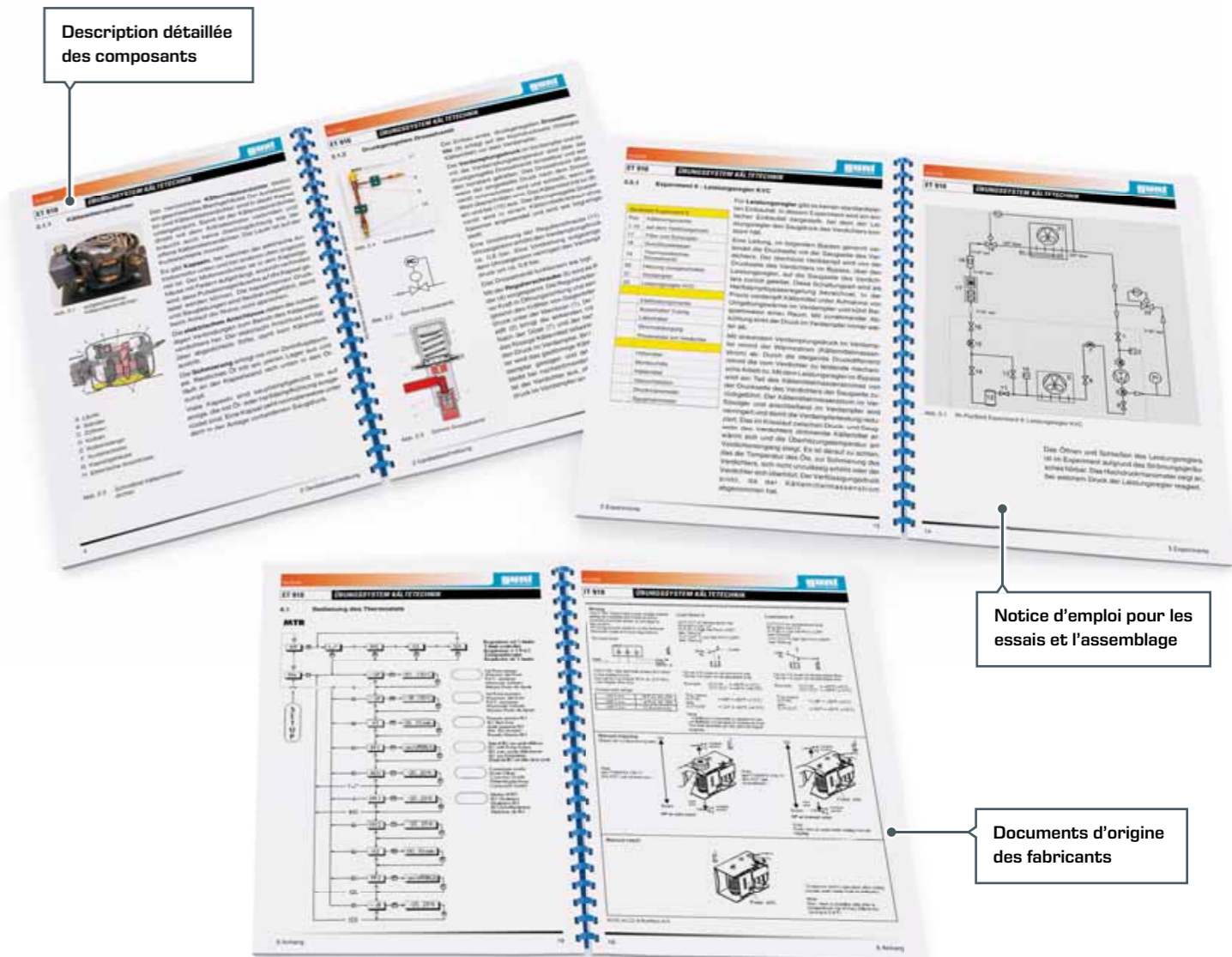
# La documentation didactique

Pour le système ET 910, nous avons développé un matériel d'accompagnement exhaustif. Celui-ci va vous faciliter l'utilisation du système dans le cadre des cours.

D'une manière plus détaillée, la documentation didactique se compose:

- d'une description exhaustive du système ET 910
- de notices d'emploi détaillées
- d'une description détaillée de l'assemblage et de la fonction des composants utilisés
- d'indications d'assemblage avec un schéma fonctionnel du système, d'un schéma de connexion électrique et d'une liste de pièces
- de fiches de travail avec une instruction pour les essais, destinés aux élèves
- de documents d'origine des fabricants et d'instructions d'assemblage pour les principaux composants

Des matériaux sous forme de sortie papier et également sous forme de fichiers PDF.



Description détaillée des composants

Notice d'emploi pour les essais et l'assemblage

Documents d'origine des fabricants



**G. Systemes Didactiques E.** s.a.r.l.  
 Equipement pour l'enseignement expérimental, scientifique et technique  
[www.systemes-didactiques.fr](http://www.systemes-didactiques.fr)