

UNIVERSITY OF TORONTO LIBRARY
SCIENCE ET TECHNIQUE DU FROID

**Échanges de chaleur
dans les systèmes frigorifiques**

**Heat exchange
in refrigerating systems**

68
**INSTITUT INTERNATIONAL DU FROID
INTERNATIONAL INSTITUTE OF REFRIGERATION**

Commissions II & III

LONDRES — 1970 — LONDON

Annexe 1970-1 au Bulletin de l'Institut International du Froid

REFRIGERATION SCIENCE AND TECHNOLOGY

SCIENCE ET TECHNIQUE DU FROID
REFRIGERATION SCIENCE AND TECHNOLOGY

Échanges de chaleur dans les systèmes frigorifiques

Transfert de chaleur et conductivité thermique
des liquides et des matières solides
Comportement thermodynamique des échangeurs de chaleur
Calcul des échangeurs de chaleur, particulièrement des évaporateurs

Heat exchange in refrigerating systems

Heat transfer and thermal conductivity
of liquids and solid matter
Thermodynamic performance of heat exchangers
Design of heat exchangers, particularly evaporators

Édité par / Issued by

**INSTITUT INTERNATIONAL DU FROID
INTERNATIONAL INSTITUTE OF REFRIGERATION**

177, boulevard Maiesherbes, 75 - Paris - 17^e - France
Supplément au Bulletin I.I.F. / I.I.R. 1970-1

Échanges de chaleur dans les systèmes frigorifiques

Transfert de chaleur et conductivité thermique
des fluides et des matières solides
Comportement thermodynamique des échangeurs de chaleur
Calcul des échangeurs de chaleur, particulièrement des évaporateurs

Heat exchange in refrigerating systems

Heat transfer and thermal conductivity
of fluids and solid matter
Thermodynamic performance of heat exchangers
Design of heat exchangers, particularly evaporators

La reproduction totale ou partielle de tout ce qui paraît dans le « Bulletin de l'Institut International du Froid » et dans ses Annexes est autorisée sous réserve de la citation précise de la source originale.

For the full or partial reproduction of anything published in the "Bulletin of the International Institute of Refrigeration" and its Annexes proper acknowledgment should be made to the original source.

Annexe au Bulletin de l'Institut International du Froid, périodique exempt de taxe, inscrit à la Commission Paritaire des Publications et Agences de Presse sous le n° 25 677.

Le Gérant : R. THÉVENOT

TABLES DES MATIÈRES — CONTENTS

Avant-propos — *Foreword* 6

Liste des participants — *List of participants* 9

COMMUNICATIONS

Session 1

LORENTZEN G. (Norway). A new concept of liquid supply regulation for large recirculation type evaporators in parallel 15
Un nouveau concept de réglage de l'alimentation en liquide pour les grands évaporateurs à recirculation en parallèle

GAC A., PIERSON G., CHAMPIER B. et PRIGNAUD H. (France). Étude des échanges de chaleur au cours du dégivrage par liquide chaud 29
A study on heat transfer during defrosting by means of a hot liquid

FRIVIK P.E. (Norway). Thermal conductivity of ice cream and snow at different temperatures 37
Conductivité thermique de la crème glacée et de la neige à différentes températures

BAKER C.K. and HASELDEN G.G. (U.K.). The effect of natural convection on the apparent thermal conductivity of porous insulants 49
Influence de la convection naturelle sur la conductivité thermique apparente des isolants poreux

Session 2

OGSTON W.M. (U.K.). Influence of natural convection on temperature distribution and heat transfer in a wall of granular material 65
Influence de la convection naturelle sur la répartition des températures et le transfert de chaleur dans une paroi constituée par un matériau granulaire

STANISZEWSKI B. and SUSKI J. (Poland). The solution of unsteady heat conduction in insulating walls by statistical methods 77
Détermination de la transmission de chaleur par conduction, en régime variable, dans des parois isolantes, à l'aide de méthodes statistiques

MEFFERT H.F.Th. (The Netherlands). A new chart for the solution of transient heat transfer problems 87
Un nouveau diagramme pour la solution des problèmes de transfert de chaleur en régime variable

MEFFERT H.F. Th. and POTTERS M.L. (The Netherlands). Development of the temperature field in a cube with heat generation 97
Évolution du champ de température dans un cube avec production de chaleur

RUBATTO G. (Italy). On the relative errors of the non-steady-state methods for measuring the thermal diffusivity of materials 107
Erreurs relatives des méthodes en régime variable pour la mesure de la diffusivité thermique des matériaux

MacLAREN J. F. T. (U.K.). Free convection of humid air over plain and finned cold tube 121
Convection libre d'air humide sur des tubes froids lisses ou à ailettes

McQUISTON F.C. and TREE D.R. (U.S.A.). Optimal continuous fin-tube heat exchangers with forced convection. 137
Echangeurs de chaleur optimaux pour des tubes à ailettes dans le cas d'ailettes placées de façon continue sur le tube, en convection forcée

FERRO V. and FILIPPI M. (Italy). Experiments on refrigeration evaporators. 147
Expériences sur des évaporateurs

STEIMLE F. (Germany, Fed. Rep.). A general analogy between heat transfer and pressure drop in turbulent flows. 161
Analogie générale entre le transfert de chaleur et la perte de charge, dans le cas des écoulements turbulents

LORENTZEN G. and GRØNNERUD R. (Norway). Investigation of liquid hold-up, flow resistance and heat transfer in an R12 evaporator coil with recirculation (Part 1. Specification of problem, equipment, and test design) 179
Étude de la rétention de liquide, de la résistance à l'écoulement et du transfert de chaleur dans un serpentin évaporateur à R12 avec recirculation (1^{re} partie. Exposé du problème, matériel et nature des essais).

LORENTZEN G. and GRØNNERUD R. (Norway). Investigation of liquid hold-up, flow resistance and heat transfer in an R12 evaporator coil with recirculation (Part 2. Liquid hold-up, theoretical calculations and test results) 193
Étude de la rétention de liquide, de la résistance à l'écoulement et du transfert de chaleur dans un serpentin évaporateur à R12 avec recirculation (2^e partie. Rétention de liquide, calculs théoriques et résultats d'essais)

Session 4

LEPELEIRE G. de (Belgique). Étude sur les charges thermiques et les longueurs relatives optimales des tubes d'évaporateurs 207
A study on the heat loads and the optimum relative lengths of evaporator tubes

CHAWLA J.M. (Germany, Fed. Rep.). A refrigeration system with auxiliary liquid and vapour circuits 217
Un système frigorifique avec circuits secondaires de liquide et de vapeur

GUTKOWSKI K. (Poland). The influence of heat exchangers on the real evaporating temperature in flooded evaporators 225
Influence des échangeurs de chaleur sur la température réelle d'évaporation dans les évaporateurs noyés

MULDER J. (The Netherlands). The calculation of counterflow recuperators with non-ideal gas and heat conduction in longitudinal direction 231
Calcul des récupérateurs à contre-courant avec un gaz non idéal et conduction de chaleur dans le sens longitudinal

HUELLE Z.R. (Denmark). The dependency of heat exchange conditions in water chillers fed through thermostatic expansion valves on the kind of signals given to automatic control. 243
Influence des conditions d'échanges de chaleur, dans les refroidisseurs d'eau

alimentés par l'intermédiaire de détendeurs thermostatiques, sur le type de signaux transmis à la commande automatique

- MOSKVICHEVA V.N., GOGONIN I.I. and DOROKHOV A.R. (U.S.S.R.).
Heat exchange in R-21 boiling and condensation 259
L'échange de chaleur dans l'ébullition et la condensation du R-21

Session 5

- LEVY F.L. (U.K.). A diagram for the transfer of heat and mass and its application to problems of refrigeration 271
Un diagramme pour le transfert de chaleur et de masse et son application aux problèmes de la réfrigération
- CAMIA F.M. et GILBERT M. (France). Utilisation de l'ordinateur pour le calcul des transferts quelconques dans une paroi isolante 287
Computer calculation of heat transfer through an insulated wall
- TAMM H. and GREEN G.H. (Canada). Dynamic response relations for combined heat and mass transfer in multi-row crossflow heat exchangers 293
Relations de réponse dynamique pour le transfert combiné de chaleur et de masse dans les échangeurs de chaleur à contre-courant à plusieurs rangées
- BETTANINI E. (Italy). Simultaneous heat and mass transfer on a vertical surface. 309
Transfert de chaleur et de masse simultané sur une surface verticale
- DUBINSKY M.G., LEVSHOOK A.T., SNITSARENKO-ZAKHARENKO V.S., SOKOLOF K.K. and STAROSTIN A.P. (U.S.S.R.). Investigation of different types of heat exchangers for air turbo-refrigerating machine (TXM) running on dry or moist air 318
Étude des différents types d'échangeurs de chaleur des turbomachines frigorifiques (TXM) fonctionnant à l'air sec et à l'air humide

Session 6

- PERRY E.J. (U.K.). Refrigeration and its role in complete energy schemes 329
Le froid et son rôle dans les schémas énergétiques complets
- MARTYNOVSKY V.S., BONDARENKO L.F., SHNIDE I.M., SEMENJUCK E.V., MYTILL A.C. and DOODKO E.A. (U.S.S.R.). The effect of separate losses in units of a refrigeration installation on its overall power efficiency 341
Recherche de l'influence des pertes dans les éléments d'une installation frigorifique sur le rendement énergétique total

FOREWORD

MEETINGS OF COMMISSIONS II AND III OF THE I.I.R. LONDON (U.K.)

JUNE 9-12, 1970

These joint meetings were held on the premises of Sudbury House, London, during June 9-12, 1970. Commission II was presided over by Mr. MATTAROLO (Italy) who was assisted by three Vice-Presidents, Miss GRIFFITH (United Kingdom), Messrs. GLASER (U.S.A.) and NESSELMANN (Germany) and by Mr. DUMINIL (France), the Secretary; Commission III was presided over by Mr. CERVENKA (Czechoslovakia) who was assisted by Vice-Presidents BARNARD (United Kingdom) and Th. E. SCHMIDT (Germany), and by Secretaries CARON (France) and TEMPLETON (United Kingdom). Mr. LORENTZEN, President of the Scientific Council, Mr. BLOUNT, President of the Executive Committee, Messrs. THÉVENOT, and ANQUEZ, Director and Deputy-Director and SEPPINGS, Engineering Assistant to the Director of the Institute also attended these meetings.

The Lord Mayor of London delivered the welcome address at the opening ceremony, with the Director of the I.I.R. replying on behalf of the Institute.

Over 110 participants from 19 countries attended these meetings and 28 papers were presented by authors from 12 countries. The general theme was "Heat exchange in refrigerating systems" and papers covered topics on heat exchange, thermal conductivity, thermodynamic performance of heat exchangers, design criteria for large refrigerating systems, dry and wet efficiencies of heat exchangers, etc. The working sessions were supplemented by technical visits to the Dartford factory of Messrs. J. & E. Hall Ltd., the British Oxygen Company at Morden and the J. Lyons ice cream factory at Greenford. Participants were entertained at official receptions.

These meetings were, from all points of view, excellently organised and a special word of thanks is due to Miss Griffith and Mr. Barnard (Vice-Presidents of Commissions II and III respectively) who assumed the bulk of the organisational work.

AVANT-PROPOS

RÉUNIONS DES COMMISSIONS II ET III DE L'I.I.F.

LONDRES (Royaume-Uni)

9-12 JUIN 1970

Ces réunions communes se sont tenues dans les locaux de Sudbury House, Londres, du 9 au 12 juin 1970. La Commission II était présidée par M. MATTAROLO (Italie), assisté de trois Vice-Présidents : M^{lle} GRIFFITH (Royaume-Uni) et MM. GLASER (États-Unis) et NESSELMANN (Allemagne), ainsi que de M. DUMINIL (France), Secrétaire; la Commission III était présidée par M. CERVENKA (Tchécoslovaquie), assisté des Vice-Présidents: MM. BARNARD (Royaume-Uni) et Th. E. SCHMIDT (Allemagne), ainsi que des deux Secrétaires: MM. CARON (France) et TEMPLETON (Royaume-Uni). Assistaient aussi à ces réunions M. LORENTZEN, Président du Conseil Scientifique, M. BLOUNT, Président du Comité Exécutif, MM. THÉVENOT, ANQUEZ et SEPPINGS, Directeur, Directeur adjoint et Adjoint au Directeur de l'Institut.

Le Lord-Maire de Londres prononça le discours d'ouverture et le directeur de l'I.I.F. répondit au nom de l'Institut.

Plus de 110 participants venant de 19 pays assistaient à ces réunions et 28 rapports ont été présentés par des auteurs venant de 12 pays. Le thème général était le suivant : «Échanges de chaleur dans les systèmes frigorifiques» et les rapports traitaient de l'échange de chaleur, de la conductivité thermique, du comportement thermodynamique des échangeurs de chaleur, des critères servant à la conception des grands systèmes frigorifiques, des rendements sec et humide des échangeurs de chaleur, etc. Les séances de travail ont été complétées par des visites techniques de l'usine J. et E. HALL Ltd., à Dartford, de la «British Oxygen Company» à Morden et de la fabrique de crèmes glacées J. Lyons à Greenford. Les participants ont assisté à des réceptions officielles.

Les réunions étaient à tous points de vue organisées de façon excellente et Miss Griffith et M. Barnard (Vice-Présidents des Commissions II et III, respectivement) qui se sont chargés de la plus grande partie de l'organisation doivent être spécialement remerciés.

LISTE DES PARTICIPANTS**LIST OF PARTICIPANTS****ALLEMAGNE (République Fédérale) — GERMANY (Federal Republic)**

CHAWLA J.M., Karlsruhe
HENRICI, Surth-bei-Köln
NESSELMAN, K., Bad Durrheim

SCHMIDT, D.T.E., Stuttgart
STEIMLE, F., Stuttgart

BELGIQUE — BELGIUM

BURNAY, G., Liège

LEPELEIRE, M. de, Louvain

BULGARIE — BULGARIA

CALTCHIEFF, C., Sofia

GATCHILOV, T., Sofia

CANADA

GREEN, G.H., Saskatoon

DANEMARK — DENMARK

ANDERSEN, S.A., Copenhague
DANIG, P., Alleröd

HUELLE, Z.R., Nordborg

ESPAGNE — SPAIN

ESTADA GIRAUTA, M., Madrid

ÉTATS-UNIS — U.S.A.

GLASER, P.E., Cambridge
MCQUISTON, F.C., Stillwater

PELUG, I.J., Minneapolis

FRANCE

CAMIA, F.M., Marseille
CARON, G.R., Paris
DOUSSAIN, R., Paris
DUMINIL, M., Palaiseau
GAC, A., Antony

HORTOBAGYI, P., Paris
LASSERRE, M.P., Paris
NGUYEN, M., Montceau-les-Mines
VRINAT, M., Saint-Denis

SHAMAI, S.

ALLEMAGNE (République Fédérale) — GERMANY (Federal Republic)

ITALIE — ITALY

BETTANINI, E., <i>Padoue</i>	FILIPPO, P. DI, <i>Padoue</i>
BOFFA, <i>Turin</i>	MAGRINI, U., <i>Gênes</i>
BONAUGURI, E. (Mme), <i>Milan</i>	MATTAROLO, L., <i>Padoue</i>
FERRO, V., <i>Turin</i>	RUBATTO, G., <i>Gênes</i>

BELGIË — BELGIUM

NORVÈGE — NORWAY

BRENDENG, E., <i>Trondheim</i>	LORENTZEN, G., <i>Trondheim</i>
FRIVIK, P.E., <i>Trondheim</i>	SKJEGGEDAL, O., <i>Okern</i>
GRÖNNERÖD R., <i>Trondheim</i>	

PAYS-BAS — THE NETHERLANDS

ARMSTRONG, R.M., <i>Soestdijk</i>	MIJNHEER, A., <i>Waalre</i>
HAMAKER, L.M., <i>s'Hertogenbosch</i>	MULDER, J., <i>Waalre</i>
MEFFERT, H.F.Th., <i>Wageningen</i>	TOUBER, S., <i>Delft</i>

POLOGNE — POLAND

ANDRZEWSKI, M.R.B., <i>Krakow</i>	STANISZEWSKI, B., <i>Warsaw</i>
GUTHKOWSKI, K., <i>Warsaw</i>	SUSKI, J., <i>Warsaw</i>

ROUMANIE — RUMANIA

MUNTEANU, V., *Bucarest*

ROYAUME-UNI — UNITED KINGDOM

ASHMOLE, G.W., <i>Dartford</i>	DENNIS, F.W., <i>Fareham</i>
BAKER, C.K., <i>Manchester</i>	DOUGLAS, J., <i>London</i>
BARNARD, A.J., <i>Dartford</i>	EAMES, T.A., <i>London</i>
BENNETT, R.D., <i>Dartford</i>	FORBES-PEARSON, S.F., <i>Glasgow</i>
BRADBROOK, T.W., <i>Greenford</i>	GOSNEY, W.B., <i>London</i>
BRECKNELL, J.A., <i>Leeds</i>	GRIFFITH, M.V. (Miss), <i>Leatherhead</i>
BREWSTER, J.A., <i>London</i>	HALLETT, M., <i>Dartford</i>
CHISHOLM, D., <i>Glasgow</i>	HARPER, R., <i>London</i>
CHRISTIE, T.H., <i>London</i>	HASELDEN, G., <i>Leeds</i>
CLARKE, R.J., <i>Dartford</i>	HEAP, E.M., <i>Romford</i>
CONSTANT, L.C., <i>Dartford</i>	HEWITT, M.R., <i>Aberdeen</i>
DANIELS, G.W., <i>London</i>	HUSSAIN, A.K.M.I., <i>London</i>

JAMES, R.W., *Grimsby*
KRELL, J., *London*
LEVY, F.L., *London*
MACLAREN, J.F.T., *Glasgow*
MOLNAR, W., *London*
MOUMONHOFF, P., *London*
OGSTON, W.M., *Aberdeen*
PERRY, E.J., *Epsom*
PITTS, G.Y., *Stockport*

RIDD, I.C., *London*
SCOTT, D.R., *London*
SCRINE, R., *Cambridge*
SHAVE, R.E., *Preston*
SMITH, T., *Fareham*
SPENCER, L.A., *Dartford*
STONEBANKS, J., *Walton-on-Thames*
TAGGART, R., *Beith*
TEMPLETON, J., *Aberdeen*

SUÈDE — SWEDEN

EURANIUS, J., *Norrköping*

SUISSE — SWITZERLAND

EMBLIK, E., *Winterthur*
MULLER, R., *Genève*

SZASZ, G., *Zürich*

TCHÉCOSLOVAQUIE — CZECHOSLOVAKIA

CERVENKA, O., *Prague*

U.R.S.S. — U.S.S.R.

CHEKUNOV, *Moscou*
DUBINSKY, M.G., *Odessa*
KALINEN, *Moscou*

MARTYNOVSKY, V.S., *Odessa*
SHAVRA, V.M., *Moscou*
SHUZIGIN, *Moscou*

I.I.F. — I.I.R.

THEVENOT, R., *Directeur*

SEPPINGS, A.H., *Ing. Adj. au Directeur*

Session 1

A NEW CONCEPT OF LIQUID SUPPLY REGULATION FOR LARGE RECIRCULATION TYPE EVAPORATORS IN PARALLEL

G. LORENTZEN

Norges Tekniske Høgskole, Institutt for Kjøleteknikk
Trondheim (Norway)

Un nouveau concept de réglage de l'alimentation en liquide pour les grands évaporateurs à recirculation en parallèle

RÉSUMÉ : Dans les grands systèmes frigorifiques dont les évaporateurs sont noyés ou à recirculation, le volume nécessaire de séparateurs et de réservoirs de liquide peut être considérable. Pour limiter le coût et l'encombrement, il est souhaitable de trouver le moyen de réduire le volume global de ces capacités sans nuire à la sécurité et au rendement de l'installation.

Les systèmes habituels de réglage du niveau du côté basse pression ou de circulation entraînent normalement de grandes fluctuations de l'alimentation en liquide et un déplacement correspondant entre les côtés basse pression et haute pression de l'installation. Cela a fréquemment aussi des répercussions sur la puissance et conduit à une instabilité du système de réglage. Une méthode rationnelle de calcul du volume nécessaire pour le séparateur a été proposée dans un rapport précédent.

On peut appliquer les principes modernes de réglage intégré pour réduire considérablement le volume nécessaire de l'ensemble des séparateurs et des réservoirs de liquide. En même temps on peut obtenir un fonctionnement tout à fait stable. On le montrera en décrivant la conception pratique d'une nouvelle installation et en indiquant les données correspondantes des mesures effectuées au cours de son fonctionnement normal.

PRINCIPLES OF LIQUID SUPPLY REGULATION

The purpose of a liquid throttling valve in a refrigerating system is to reduce the pressure to a level corresponding to the required saturation temperature, and to adjust the liquid supply to the evaporator in accordance with the requirement. A large number of different types of equipment has been introduced for this job. Three main principles are currently used in connection with flooded or recirculation type evaporators. They can be classified as follows:

A. High pressure side level control, keeping the condenser side nearly free of liquid (fig. 1). The evaporator system must hold nearly the entire refrigerant charge all the time, and the liquid separator must be large enough to absorb all the fluctuations caused by load variations. Two different principles of mechanical level regulators are shown somewhat schematically in the figure. Type "a" has a small by-pass for continuous venting to the LP side, and can be fitted at any desired level within the limitation that excessive evaporation in the liquid line due to static pressure reduction must be avoided. It functions much as an ordinary steam trap, keeping the HP side virtually free of liquid. Type "b" is fitted to communicate with the receiver at the desired level, and is suitable for use where a separate sub-cooler for the liquid is installed.

The HP level regulation has the advantage of a smooth operation without large pulsations, and is simple and reliable. Its main disadvantage is that it is, in its usual form, limited in application to systems with one single evaporator per condensing unit.

B. Low pressure side level control, aiming at the maintenance of a nearly constant liquid height in each evaporator system, (fig. 2). The separators must be made large enough to hold the boil-over liquid at a sudden capacity increase and supply the liquid requirement at a capacity reduction, while the high side receivers must

be sized to take care of the slower displacement of refrigerant when the level control adjusts for the changed conditions. The system is flexible in so far as it can be used for an arbitrary number of evaporators in parallel, but has a tendency to give large fluctuations.

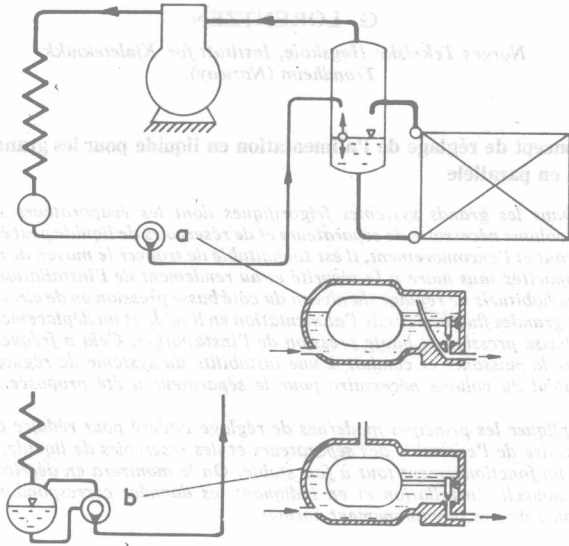


Fig. 1 — Principle of high pressure level control. The functioning of system "a" is similar to that of a steam trap, keeping the HP side free of liquid. A small by-pass to the throttling valve serves to vent off any air and the float can be fitted at any suitable elevation. System "b" acts to maintain a certain liquid level at the HP side, and this may be desirable if a special sub-cooler is used.

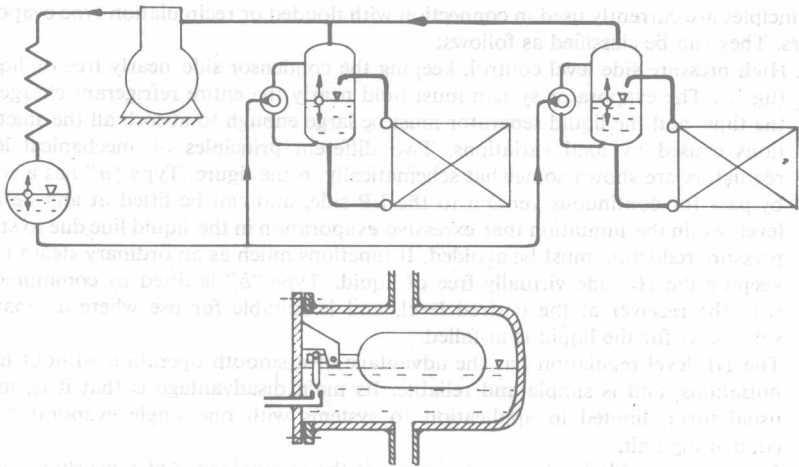


Fig. 2 — Principle of low pressure level control. Excess liquid, in an amount depending on the momentary load condition, is stored in the HP receiver. The detail is an example of a common LP float valve.