

Adresses:

Editeur: Office fédéral des
questions conjoncturelles (OFQC)
Belpstrasse 53
3003 Bern
Tél.: 031/61 21 39
Fax: 031/61 20 57

Direction: RAVEL
c/o Amstein+Walthert AG
Leutschenbachstrasse 45
8050 Zürich
Tél.: 01/305 91 11
Fax: 01/305 92 14

Responsable
romand: Charles Weinmann
Weinmann-Energies SA
Route d'Yverdon 4
1040 Echallens
Tél.: 021/881 47 13
Fax: 021/881 10 82

Chef du domaine: Daniel Spreng
Forschungsgruppe
Energieanalysen
ETHZ
8092 Zürich
Tél.: 01/256 41 89
Fax: 01/251 21 72

Auteurs: Frieder Wolfart
Thomas Bürki
Anton Klaus
Ernst Basler & Partner AG
Zollikerstrasse 65
8702 Zollikon
Tél.: 01/395 11 11
Fax: 01/395 12 34

Cette étude appartient à l'ensemble des projets d'étude effectués par des diers dans le cadre du programme d'impulsion RAVEL. L'Office fédéral des questions conjoncturelles et la Direction du programme autorisent la publication de ce rapport, sous la responsabilité des auteurs et des chefs des domaines concernés.

Copyright Office fédéral des questions conjoncturelles
3003 Berne, septembre 1992
Reproduction autorisée, avec mention de la source.
Commande auprès de l'Office fédéral central des imprimés et du matériel, Bern (No de com. 724.397.12.54 f)

Form. 724.397.12.54 f 9.92 300

RAVEL - Publications RAVEL

Publications RAVEL

Valeurs caractéristiques de processus industriels

Frieder Wolfart



Thomas Bürki
Anton Klaus

Programme d'Impulsions RAVEL
RAVEL - Publications RAVEL

Office fédéral des questions conjoncturelles

INDICES DE CONSOMMATION DES PROCÉDÉS INDUSTRIELS

Résumé

La maison Basler & Partner SA, de Zollikon, s'est vu confier la réalisation d'une étude sur le thème "Indices de consommation des procédés industriels", qui s'inscrit dans le programme d'impulsions RAVEL. Il s'agissait de présenter une méthode qui permette, quelle que soit la branche considérée, de déterminer la consommation d'énergie des procédés et chaînes d'exploitation, et d'évaluer cette consommation.

Les indices ainsi obtenus offriront aux entreprises la possibilité de se comparer entre elles et d'échanger des expériences, afin de parvenir à l'utilisation économe et rationnelle de l'énergie. La comparaison révélera les faiblesses énergétiques de l'exploitation et livrera des solutions pour y remédier. Ensuite, on vérifiera à l'aide des indices l'efficacité des mesures prises.

La qualité première d'un indice n'est pas sa précision, mais son aspect pratique. En effet, chaque entreprise devra pouvoir, elle-même et à peu de frais, relever ses paramètres, calculer ses indices et les interpréter. Pour cela, elle s'appuyera avant tout sur ses statistiques d'exploitation; le découpage de la production par étapes devra obéir à des critères généraux.

Afin de garantir la praticabilité de la méthode, nous l'avons appliquée, à titre d'exemple, à deux branches industrielles. Il s'agit de la production de bière et du moulage de plastique par injection.

Pour chacune de ces deux branches, nous avons créé un groupe de travail réunissant les représentants d'une demi-douzaine d'entreprises ainsi que, dans le second cas, d'une fabrique de machines. Ils se sont réunis à intervalles réguliers et ont suivi le déroulement du projet. Quelques-unes des firmes représentées ont alors relevé leurs données et déterminé leurs indices.

Les enseignements recueillis ont amené toutes les entreprises participantes à repenser leur utilisation d'énergie. De nombreuses mesures de rationalisation éneergétique ont été décidées et quelques-unes sont en voie de réalisation. Les groupes de travail subsistent.

Je me propose de vous présenter brièvement la méthode adoptée, après quoi je vous communiquerai quelques constatations intéressantes faites dans les brasseries.

PRESENTATION DE LA METHODE

La méthode présentée ci-après permet d'évaluer, à l'aide d'indices, des procédés de fabrication ou des éléments de procédés.

Etant donné la complexité du problème et les principes énoncés plus haut, les indices devraient être déterminés selon le schéma (figure 1).

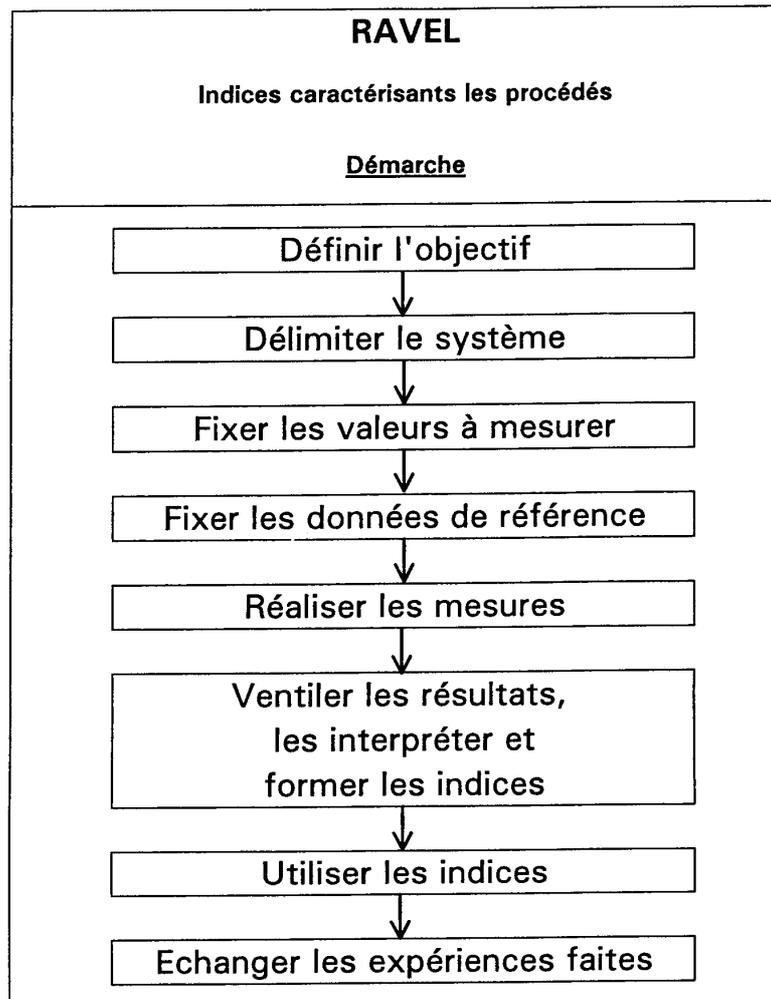


Figure 1 : Indices caractérisants les procédés

Définir l'objectif - commencer par réfléchir - puis mesurer

L'indice devrait répondre à certaines questions, qu'il faut commencer par formuler concrètement. Il conviendrait d'en évaluer sommairement l'utilité, et à partir de là, l'effort que l'on pourra raisonnablement investir (mesures, ventilation des résultats, interprétation) pour l'obtenir. Les démarches suivantes découlent de la formulation de l'objectif.

Quelques objectifs possibles de l'analyse énergétique

Reconnaître les insuffisances énergétiques de l'entreprise

Reconnaître les principaux facteurs de consommation d'énergie

Evaluer des installations ou des machines lors d'un achat ou d'un assainissement

Optimaliser l'emploi d'installations ou de machines

Optimaliser l'exploitation

Superviser l'exploitation / motiver les collaborateurs

Répartir équitablement les frais d'énergie

Etablir la comparaison avec d'autres entreprises

Délimitation du système

Pour obtenir une donnée bien définie concernant les flux d'énergie, il convient de procéder à une délimitation du système : n'examiner que ce qui contribue à répondre aux questions posées (définition de l'objectif). Les facteurs de perturbation diminuent lorsque la mesure du flux d'énergie se rapproche de l'utilisateur, facilitant d'autant l'interprétation. Inévitablement, il faudra simplifier et laisser de côté tel ou tel élément, mais il importe de le faire consciemment.

Questions principales auxquelles répondra la délimitation du système:

Quelles parties d'entreprise prendre en considération?

Le procédé examiné doit-il être morcelé?

Quelles énergies prendre en compte?
Quel état d'exploitation étudier?
Quelle doit être la fréquence des mesures?
Choix des paramètres mesurés

Règle : mesurer le moins possible. Souvent, les valeurs souhaitées se déduisent de certains chiffres connus, ou bien l'information s'obtient à l'aide de peu de mesures, jointes à un zeste de réflexion et quelques calculs.

Les points de mesure dépendent des caractéristiques de l'exploitation. Il faut donc connaître à fond les équipements de conversion et de distribution d'énergie. Au besoin, on commencera par établir des plans et des vues d'ensemble.

Choix des données de référence

L'indice résulte de la division d'une valeur mesurée (p.ex. la consommation d'énergie pendant un certain laps de temps) par une donnée de référence (p.ex. le nombre de pièces produites pendant le même laps de temps). Pour répondre à la question figurant dans la définition de l'objectif, il importe de choisir la donnée de référence appropriée.

La donnée de référence doit pouvoir être déterminée simplement. On choisira donc autant que possible des valeurs figurant déjà dans la statistique d'exploitation.

Les mesures

Lorsqu'on procède à une mesure, il faut noter le plus précisément possible tous les paramètres d'exploitation ainsi que les conditions régnant à ce moment-là, afin que le résultat puisse être correctement interprété.

Ventilation des résultats, interprétation, formation d'indices

Le mode de ventilation des résultats doit être fixé avant que l'on procède aux mesures. On présentera les résultats de manière à faciliter leur interprétation dans l'optique des questions posées. Un graphique s'y prête particulièrement bien.

Application

L'opération s'achève lorsqu'on applique, dans l'entreprise, les enseignements recueillis. Après avoir identifié des possibilités d'utilisation plus rationnelle de l'énergie, il faut donc les concrétiser par des actes. Cela implique la création de compétences et de responsabilités. De même, des instruments de contrôle sont nécessaires pour vérifier ensuite les résultats obtenus.

Echange d'expériences

Dans l'échange d'expériences, les maisons de la même branche font connaître les enseignements recueillis, contribuant à améliorer l'efficacité et la capacité d'innovation des firmes participantes. La comparaison implique toutefois que les entreprises déterminent leurs indices de la même manière, c'est-à-dire qu'elles choisissent les mêmes délimitations et valeurs de référence.

LE CAS DE LA FABRICATION DE BIÈRE

La fabrication de bière relève d'un procédé relativement gourmand d'énergie, qui obéit partout au même schéma, approximativement (figure 2):

Le malt est empâté, c'est-à-dire mélangé avec de l'eau chaude. Les matières non solubles, appelées "drêches", en sont séparées et le moût ainsi obtenu, additionné de houblon, est bouilli dans la chaudière d'ébullition, où il perd 10 % de son volume par évaporation. La durée de cette opération (généralement 6 - 8 heures) et sa température varient selon le système de cuisson adopté. A la fin, le moût est refroidi à une température de 5 à 6 °C. Dans les cuves réservées à la fermentation, l'adjonction de levure déclenche ce processus générateur de chaleur, qui doit être évacuée. Après 7 jours environ, la fermentation principale est terminée et la "bière jeune" passe dans des cuves de garde. La fermentation secondaire va prendre encore 6 à 8 semaines. La bière ainsi obtenue est alors filtrée, éventuellement stabilisée et pasteurisée, puis conditionnée et vendue.

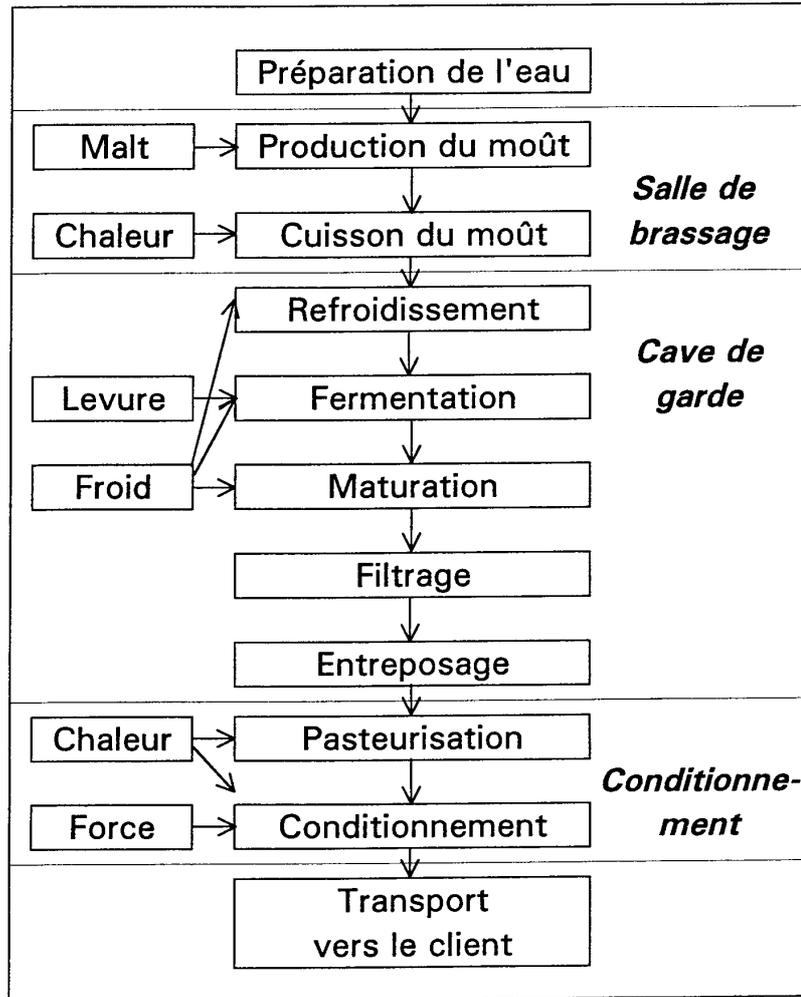


Figure 2: Les éléments du procédé.

Après une discussion approfondie, les 8 entreprises représentées dans le groupe "Brasseries" ont formulé deux objectifs touchant les indices souhaités :

1) Premier objectif: évaluer la consommation globale. Le rôle des indices est de permettre à toute brasserie d'évaluer sommairement l'efficacité de l'énergie utilisée. La comparaison avec d'autres brasseries et la discussion devraient dégager des possibilités d'économies. On s'est donné pour règle de n'utiliser que les données et les statistiques existantes.

2) Second objectif. évaluer la consommation d'électricité et de froid dans la cave de garde (indices spéciaux). Là aussi, la comparaison devrait révéler des possibilités d'économies.

Détermination des indices énergétiques globaux (courant et combustibles)

La délimitation du système devant servir à fixer les valeurs de mesure et de référence a été faite dans la perspective des objectifs et compte tenu des règles adoptées (pas de nouvelles mesures, ne recourir qu'à des documents et statistiques existants) :

- On n'a retenu que la consommation de combustibles et d'électricité, en négligeant celle de carburants.
- On a considéré la consommation d'énergie des brasseries complètes, y compris leurs exploitations annexes et auxiliaires.
- Les chiffres de consommation d'énergie et de production ont été relevés chaque mois.

Les données requises ont été recueillies par un questionnaire envoyé aux brasseries.

Nous avons ventilé les réponses reçues et calculé les indices correspondants.

En voici quelques exemples:

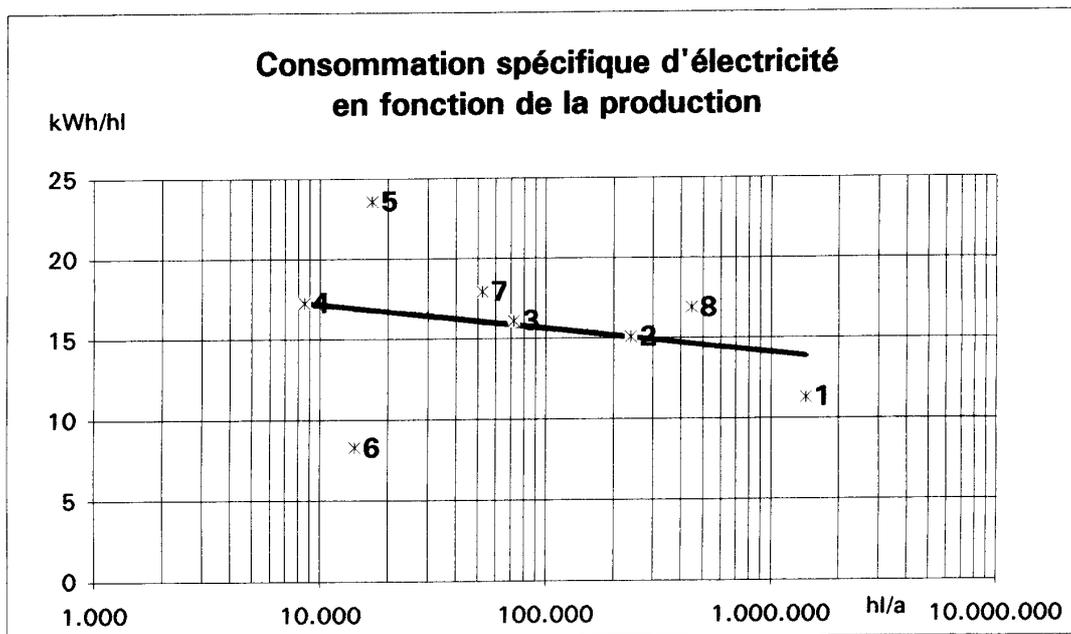


Figure 3 : Consommation spécifique d'électricité en fonction de la production de moût de bûmage

Les chiffres spécifiques de la consommation d'électricité par rapport à la production de moût de bûmage (figure 3) vont de 8 à 24 kWh/hl. On observe une tendance à leur diminution lorsque la taille de la brasserie croît, mais il arrive qu'ils s'écartent largement de la valeur attendue.

La brasserie n° 6 offre la valeur la plus basse, malgré une production modeste. Cela s'explique en partie par les raisons suivantes :

- les installations cryogéniques sont modernes
- les condenseurs sont refroidis avec de l'eau à 10 °C
- la garde se fait dans une cave sous roche, naturellement fraîche

La brasserie n° 1 a un chiffre très favorable aussi, bien qu'elle dispose d'un compresseur des buées (installation électrique de récupération de la chaleur des vapeurs dégagées à l'ébullition). Sa bonne valeur spécifique repose d'une part sur l'équipement moderne de cette brasserie, de l'autre sur son taux d'utilisation élevé.

La brasserie n° 8 se situe relativement haut. Cela est dû pour une part à une installation productrice de froid qui a un mauvais rendement et à la cave de garde, mais aussi à l'importance des ventes de boissons non alcooliques, qui influencent la consommation de courant mais non la valeur de référence. La brasserie n° 5 est très au-dessus de la valeur attendue parce qu'on y chauffe l'eau à l'électricité.

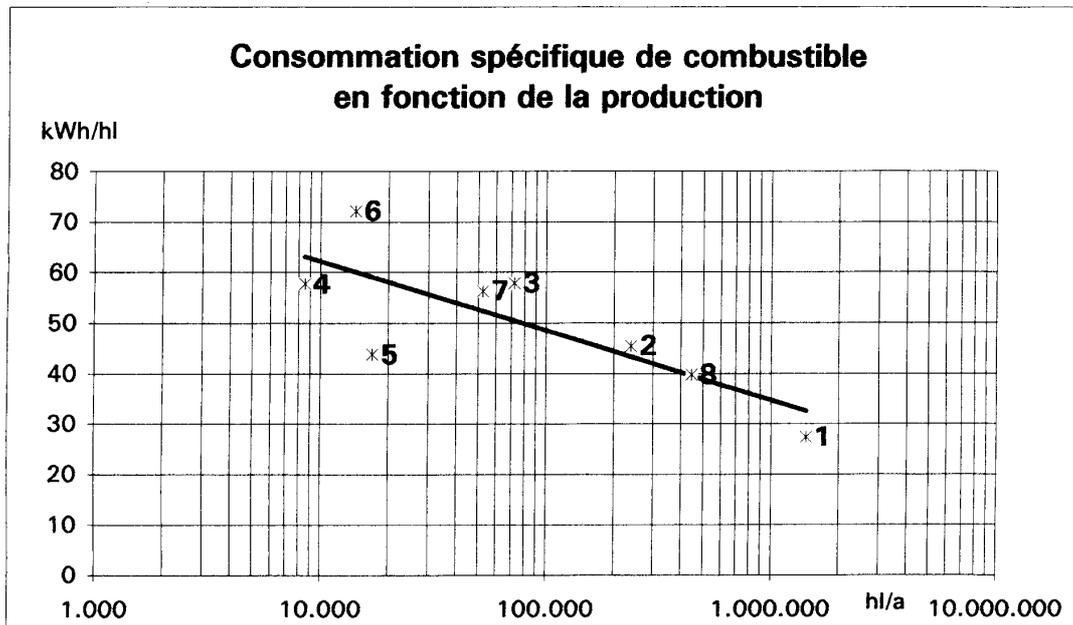


Figure 4 : Consommation spécifique de combustibles en fonction de la production de moût de bavage

Les chiffres de la consommation spécifique de combustibles en fonction de la production de moût de bavage (figure 4) se situent entre 27 et 72 kWh/hl. Le record est détenu par la brasserie n°1, grâce à son compresseur des buées. Avec 40 kWh/hl, la brasserie n° 8 se situe déjà nettement plus haut. Le chiffre élevé de la brasserie n° 6 est imputable à une exploitation annexe, qui consomme de la chaleur.

A la brasserie n° 5, la préparation d'eau chaude à l'électricité et le chauffage des chaudières à feu nu influencent favorablement la consommation spécifique de combustible.

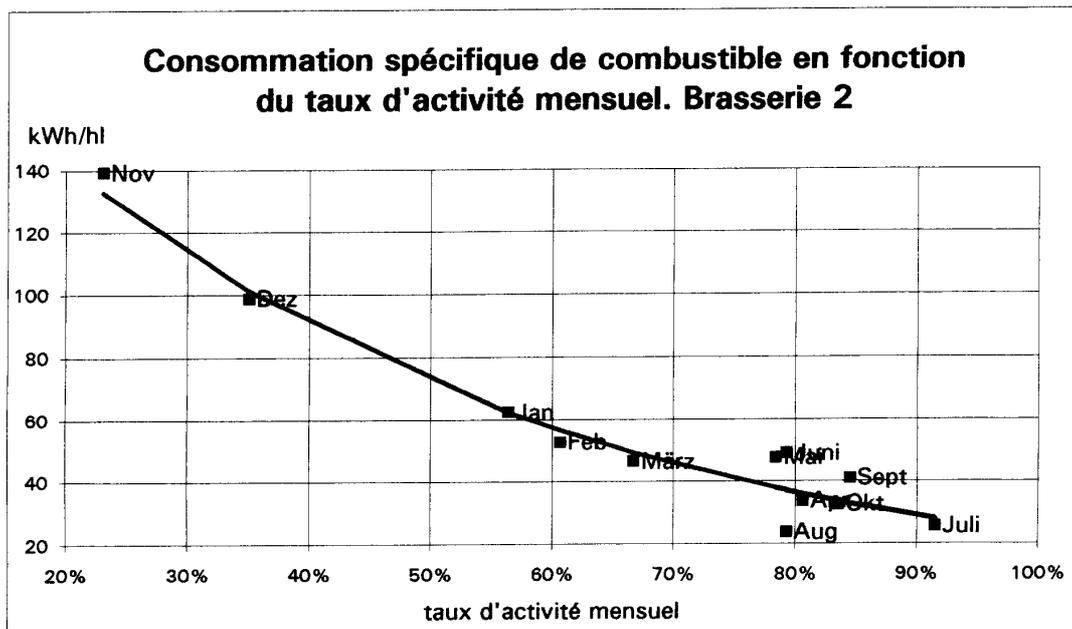


Figure 5: Consommation de combustible rapportée au taux mensuel d'utilisation

La figure 5 montre la consommation spécifique de combustible par hl de moût de bombage selon le taux mensuel d'utilisation de la chambre de brassage. Les valeurs grimpent de manière impressionnante durant les mois de faible utilisation.

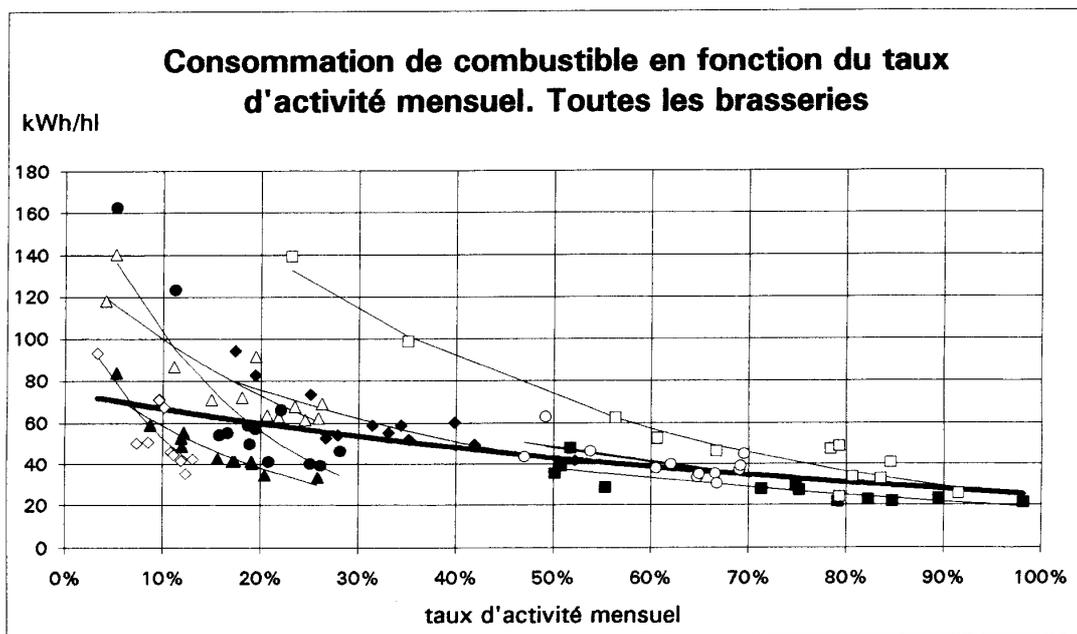


Figure 6 : Consommation de combustible rapportée au taux mensuel d'utilisation de toutes les brasseries

La figure 6 présente la relation qui existe entre le taux d'utilisation mensuel de l'ensemble des brasseries et leur consommation de combustible pendant la même période.

On observe à nouveau qu'une bonne utilisation se traduit par des indices plus faibles. Ce sont surtout les grandes brasseries qui ont un bon taux d'utilisation. Il faut donc se demander si les indices annuels les moins élevés sont liés à la taille de l'entreprise ou à son taux relatif d'utilisation. Or si l'on considère les brasseries isolément (courbes fines), il apparaît que les valeurs mensuelles spécifiques croissent nettement en cas de faible utilisation: cet indice dépend donc d'abord de l'utilisation spécifique, et ensuite seulement de la taille de la brasserie. Même dans les petites brasseries, il s'élève lorsque l'utilisation s'améliore.

Indices concernant la cave de garde

Les indices serviront à évaluer la consommation d'électricité et de froid dans le secteur des caves de garde. Malgré les différences qui les caractérisent (procédés de production, conditions-cadres), les brasseries devraient pouvoir se comparer entre elles et découvrir leurs points faibles et les améliorations possibles.

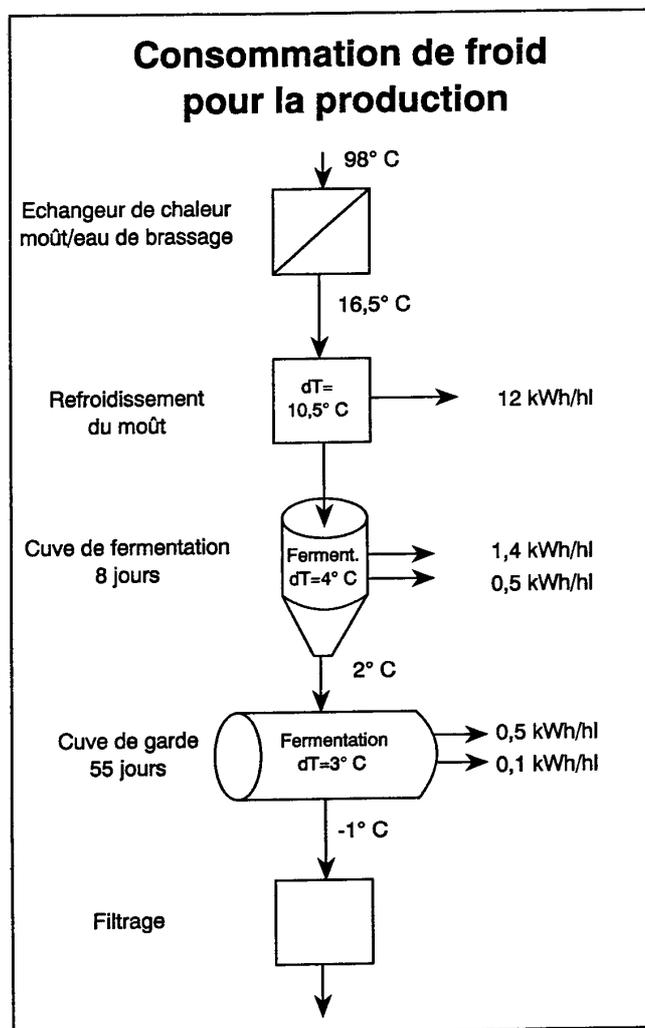


Figure 7: Consommation technique de froid dans la cave de garde

La figure 7 présente la délimitation du secteur de la cave de garde. On a déduit de la consommation totale de froid les valeurs se rapportant à l'évacuation de la chaleur

de fermentation et au refroidissement de la bière. Les pertes ainsi obtenues servent à évaluer les phases du travail dans le secteur de la cave. La consommation technique de froid d'une brasserie étudiée ressort également de la figure 7.

On se réfère à la quantité de bière filtrée, qui représente la production de la cave de garde, mesurée dans toutes les brasseries. Tous les indices dérivent de statistiques d'exploitation préexistantes (compteur d'heures de marche, compteur d'électricité, statistiques de production).

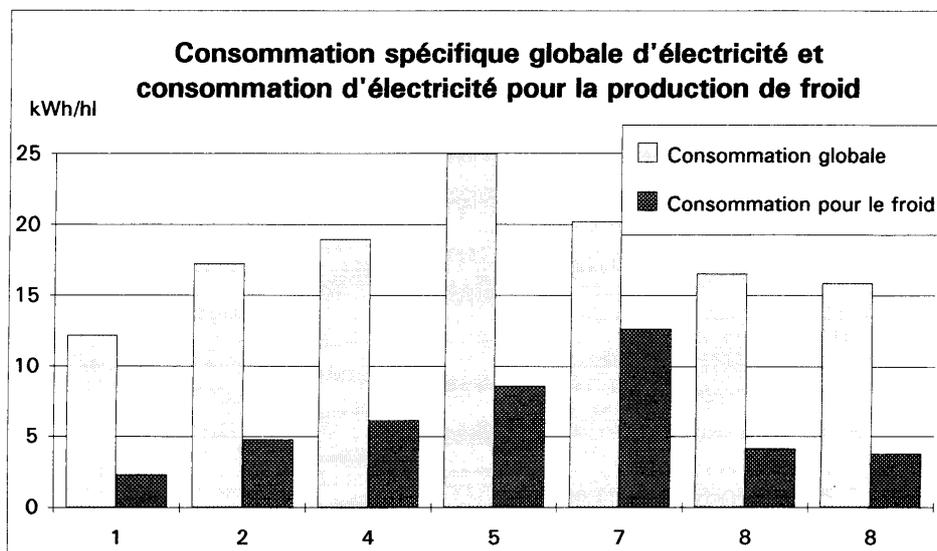


Figure 8: Consommation globale spécifique de courant et consommation de courant pour le froid

La figure 8 présente la consommation globale spécifique de courant et la consommation de courant pour le froid.

La consommation globale de courant d'une brasserie se situe entre 12 et 25 kWh/hl de bière filtrée. De son côté, la production de froid nécessite 2,3 à 12,6 kWh/hl. La brasserie 1 emploie 19 % de son électricité à ce dernier poste, la brasserie 7 parvient à 62 %, soit au delà de trois fois plus.

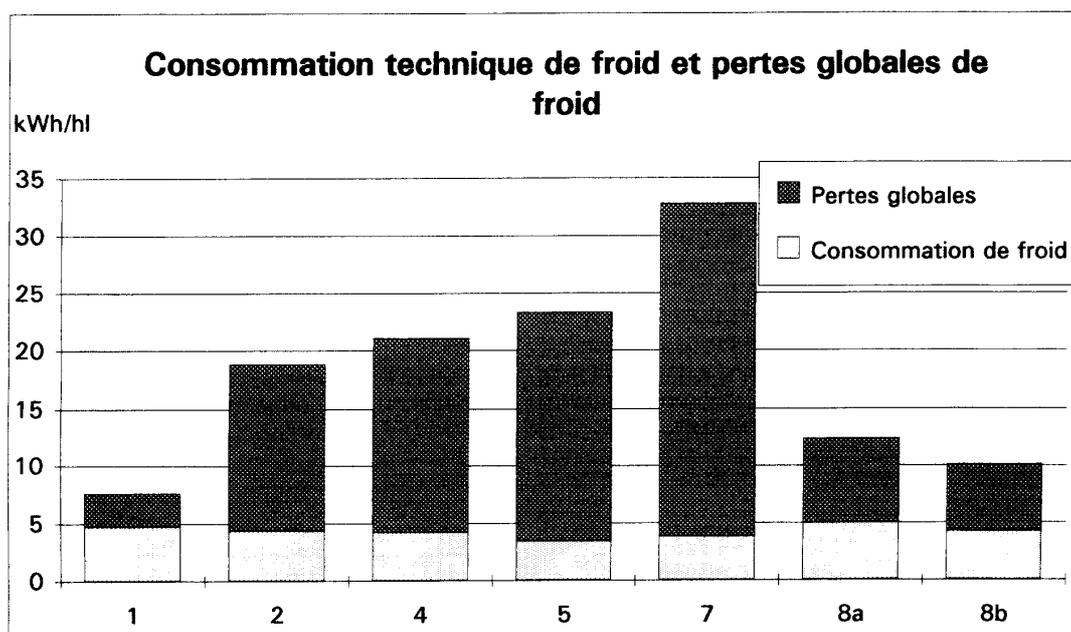
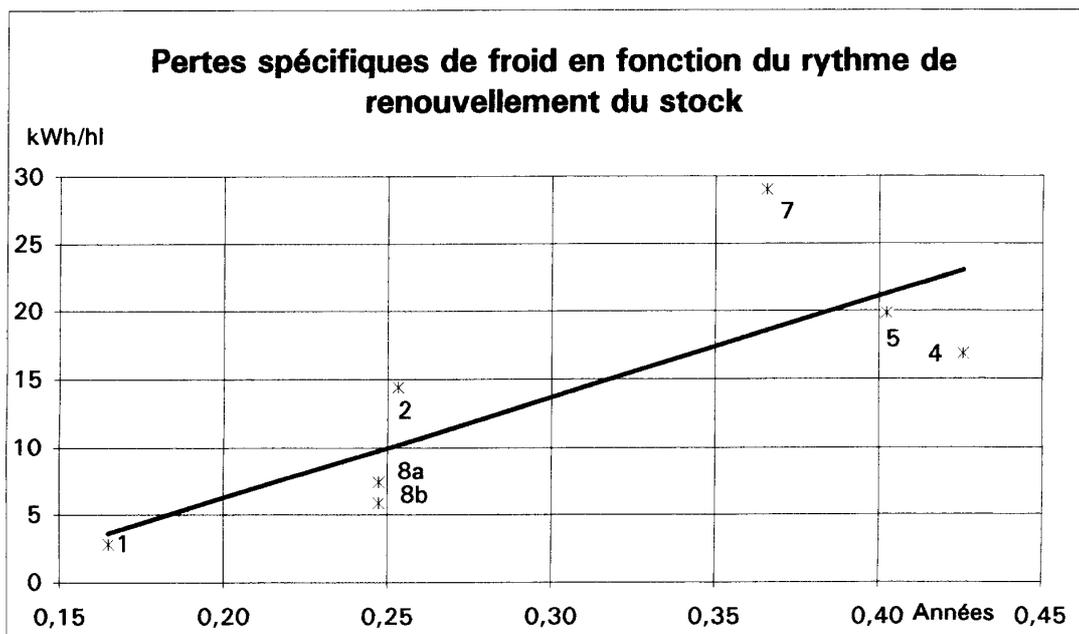


Figure 9 : Consommation technique de froid et pertes totales de froid

La figure 9 présente la consommation de froid et les pertes totales de froid. La distinction entre la consommation technique et les pertes de froid donne des résultats encore plus différenciés. Dans toutes les brasseries, le premier poste se situe entre 3,5 et 5 kWh/hl de bière filtrée, tandis que le second varie de 2,8 à 29 kWh/hl. La brasserie 1 emploie 37 % du froid produit à couvrir les pertes, alors qu'à la brasserie 7, il en faut 88 %.



10 : Pertes spécifiques de froid en fonction du rythme de renouvellement du stock

La figure 10 présente les pertes spécifiques de froid en fonction du rythme de renouvellement du stock. La fréquence de renouvellement du stock détermine, pour une part, les pertes spécifiques dans ce secteur. Elle est de 8 à 22 semaines. Mais d'autres facteurs, tels que la qualité d'isolation des caves et des équipements de distribution du froid, jouent un rôle plus important.

Voilà un bref aperçu des enseignements recueillis. Le débat au sein du groupe de travail, étayé par les indices, a amené les entreprises participantes à apporter nombre d'améliorations à leur exploitation. D'autres mesures ciblées sont prévues; elles toucheront les systèmes techniques. Les indices permettent désormais de les évaluer et d'en apprécier l'impact.

Mais le principal résultat de ce travail est la prise de conscience qui s'est faite chez tous les membres du groupe, qui accorderont désormais une attention accrue à la consommation d'énergie : ils savent que l'on peut aisément observer les flux d'énergie dans l'entreprise et que leur analyse coûte beaucoup moins qu'elle ne rapporte.

