

Le logiciel CaloXPert

un outil d'aide à la conception de l'isolation thermique des tuyauteries et équipements

Calcul de déperditions

Protection antigel

Épaisseur écologique d'isolation

Réglementation thermique

par Denis PETIT,
Directeur de CaloSoft

Dans le cadre du réchauffement climatique de notre planète, des actions importantes doivent être menées. Des études internationales ont montré que l'isolation thermique est le secteur qui sera le plus économique pour éviter les émissions de gaz carbonique d'ici 2030. Une branche méconnue de ce secteur peut contribuer à cet effort planétaire, c'est l'isolation des équipements techniques, tuyauteries et appareils, activité que l'on nomme couramment en France, calorifugeage. Et qui dit technique, dit outil de calcul et de simulation, et c'est pourquoi nous allons vous présenter le seul logiciel indépendant adapté à ce métier.

Qu'est ce que le calorifugeage ?

C'est l'isolation des tuyauteries et appareils stockant ou transportant des fluides thermiques chauds ou froids. Comme fluides, on trouve souvent des gaz, comme l'air chaud ou de la vapeur d'eau saturée ou surchauffée, ou des liquides, comme l'eau chaude ou l'eau froide, des gaz liquéfiés et d'autres produits chimiques. Les équipements isolés sont des tuyauteries, des gaines, des réservoirs, des citernes fixes ou mobiles, des chaudières, des centrales de froid, des réacteurs chimiques, et bien d'autres équipements. On les trouve principalement dans les industries chimiques, la production d'énergie, de chauffage urbain, de ciment, de papier, etc., mais aussi dans le secteur tertiaire, comme les hôpitaux, les aéroports, les entrepôts. On en trouve aussi dans l'habitat avec les circuits d'eau chaude sanitaire et de chauffage.

Un logiciel d'aide à la conception du calorifugeage

Pour illustrer les différents buts du calorifugeage, nous utiliserons les résultats donnés par le logiciel CaloXPert, spécialisé dans la conception du calorifugeage. Ce logiciel, qui est apparu, il y a deux ans, a été lancé à l'initiative du Syndicat National de l'Isolation, présidé à l'époque par M. Christian Bonnet, et par un ingénieur spécialisé en informatique et en thermique, ancien dirigeant d'une entreprise d'isola-

tion, M. Denis Petit.

Cet outil dispose de nombreux types de calcul, dont le choix dépend des contraintes et des objectifs de l'isolation. Il permet de calculer des déperditions thermiques, des températures à la surface de l'isolation ou entre couches d'isolants, une chute de température le long d'une tuyauterie, ou une durée de refroidissement d'un équipement.

Ces calculs sont facilités par la présence d'une base de données comprenant la plupart des isolants utilisés en calorifugeage. Ce peut-être des isolants commercialisés par des fabricants ou définis par des normes ou des standards.

Ce logiciel est utilisé par des entre-

Calorifugeage

Définition : Isolation des équipements techniques stockant ou transportant des fluides froids ou chauds.

Autres dénominations : isolation thermique industrielle, isolation technique (Europe), isolation mécanique (USA).

Buts du calorifugeage :

Conserver l'énergie thermique

Contrôler les températures de service

Protéger contre la condensation, le givre et le gel

Protéger les personnes

Limiter les rejets des gaz à effet de serre

Limiter les bruits

Protéger contre l'incendie

Respecter la réglementation

Domaine d'isolation :

-260°C à +1300°C

Site : www.snisolation.fr

prises d'isolation, des fabricants d'isolants, des bureaux d'études thermiques, des sites industriels, en France, en Europe et en Afrique.

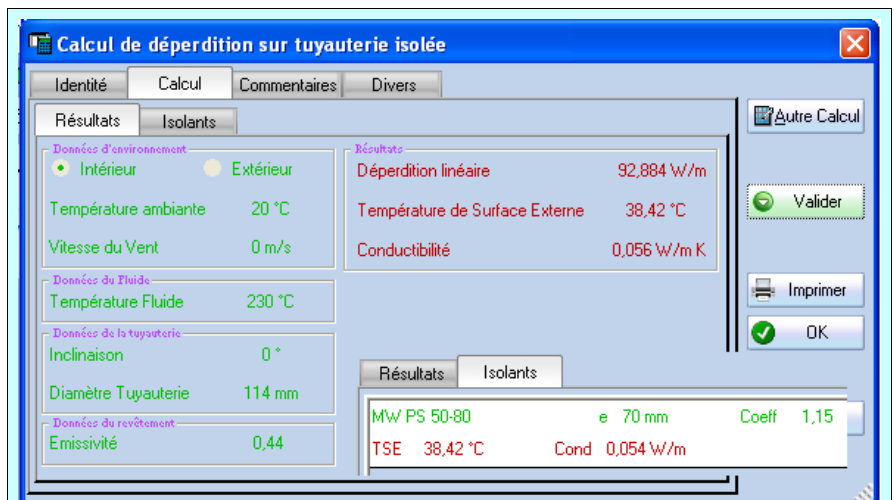


Figure 1 : Présentation regroupée des résultats sur un calcul de déperdition d'une tuyauterie isolée : en vert, les données saisies, en rouge, les résultats, réparties sur deux parties, accessibles en cliquant sur les onglets Résultats ou Isolants.

Calcul de déperditions

Il n'existe pas d'isolation absolue. Quelque soit la nature et l'épaisseur de l'isolation, il y aura toujours des pertes d'énergie thermique, que l'on appelle déperditions. Pour calculer une déperdition linéique de tuyauterie, il faut renseigner les paramètres d'environnement, tels que la température ambiante, qui correspond souvent à la température moyenne du mois le plus défavorable, et la vitesse du vent, lorsque l'équipement à isoler est en extérieur. Il faut connaître la température du fluide circulant dans la tuyauterie, et le diamètre extérieur et l'inclinaison de celle-ci.

En général, les isolants sont protégés par un revêtement métallique, de type tôle d'aluminium, acier galvanisé ou acier inoxydable, ou un revêtement PVC ou de type enduit. Ce revêtement peut plus ou moins réfléchir le rayonnement ambiant (lumière). Les corps métalliques brillants auront une émissivité faible à l'inverse des enduits, et surfaces oxydées.

En cliquant sur le volet suivant, on sélectionnera le ou les isolants désirés, et pour chacun, une épaisseur sera saisie.

Après avoir cliqué sur le bouton

Calcul, nous voyons apparaître quelques résultats, comme la déperdition linéique (déperdition par mètre de tuyauterie), la température à la surface du revêtement et la conductibilité (conductivité du système isolant en tenant compte du rayonnement et de la convection aux surfaces de l'isolation). Sur le deuxième volet, nous voyons les résultats pour chaque isolant, comme la température entre couches et la conductivité moyenne.

Sur l'état imprimé, apparaît d'autres résultats, comme la déperdition surfacique (déperdition par m² de surface extérieure isolée), le coefficient d'échange superficiel et les émissions d'équivalent carbone, que nous verrons plus loin.

Protection antigel

En période hivernale, nous devons mettre hors gel toutes les canalisations d'eau, qui ne sont pas en service permanent, comme les réseaux d'eau incendie. Pour les petits diamètres, l'isolation ne suffira pas, il faudra ajouter un apport thermique sous la forme d'un traçage vapeur ou d'un traçage électrique.

En prenant l'exemple de la figure 2, nous allons examiner ce qui se passe lors de la congélation d'une tuyauterie d'eau. Dans une pre-

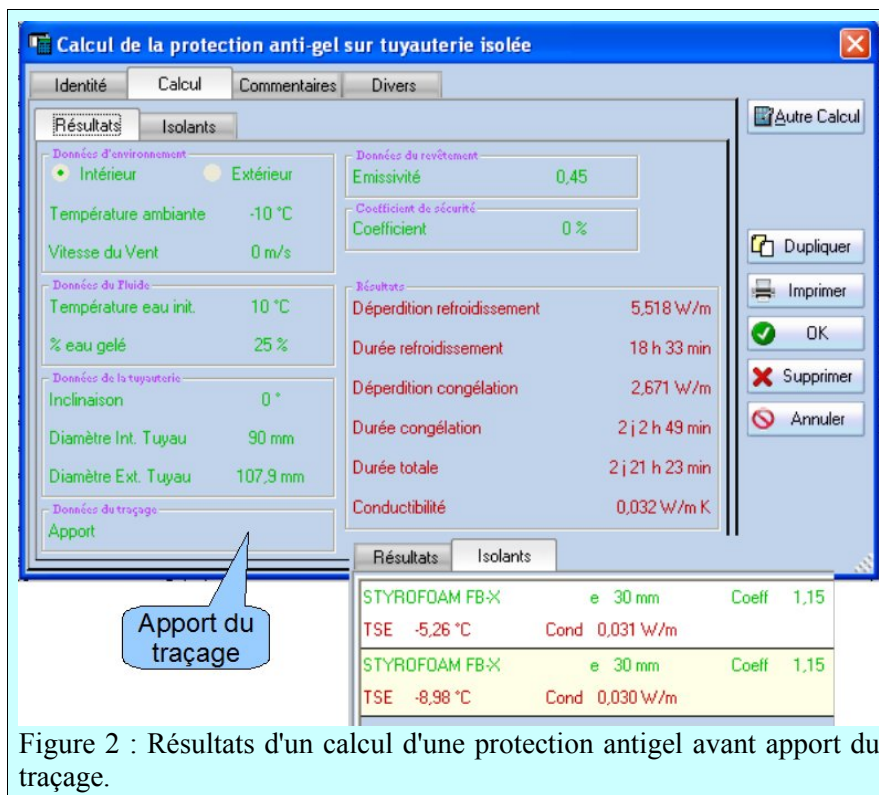


Figure 2 : Résultats d'un calcul d'une protection antigel avant apport du traçage.

CaloXPert : Fiche technique

Types de calculs :

Déperdition thermique de tuyauterie ou d'appareil isolées ou nues
Épaisseur d'isolation de tuyauterie ou d'appareil

Protection antigel de tuyauterie
Chute de température sur une longueur de tuyauterie isolée
Refroidissement d'une capacité isolée

Propriétés de l'air humide
Émission de carbone et de CO2
Types de calculs en Version L :

Tableau d'épaisseurs d'isolation suivant les diamètres et températures du fluide circulant

Tableau d'épaisseurs d'isolation suivant les diamètres et classes d'isolation

En développement :

Gain thermique sur tuyauterie ou appareil

Épaisseur écologique d'isolation
Performance thermique d'un réseau

Traduction dans d'autres langues (anglais, ...)

Base de connaissances

Isolants de marques et génériques (DIN4140 et CINI)

Revêtements

Sources d'énergies (ADEME)

Divers

Sauvegarde des calculs

Regroupement par projet

Export vers PDF, Microsoft Office, OpenOffice

Système

Windows XP, Vista Professionnel
Configuration monoposte ou multiposte (suivant option)

Distribution : CaloSoft

Clientèle visée : Bureaux d'études, entreprises d'isolation, entreprises générales, fabricants et distributeurs d'isolants, gros consommateurs d'isolants, ...

Site : www.caloxpert.com

mière phase, l'eau liquide va se refroidir, et la température va descendre jusqu'à 0 °C, température de congélation de l'eau. Dans notre exemple, l'eau va passer de 10 °C à 0 °C en 18h 33m en perdant 5,518 W/m. Dans un second temps, la température restant à 0 °C, l'eau va

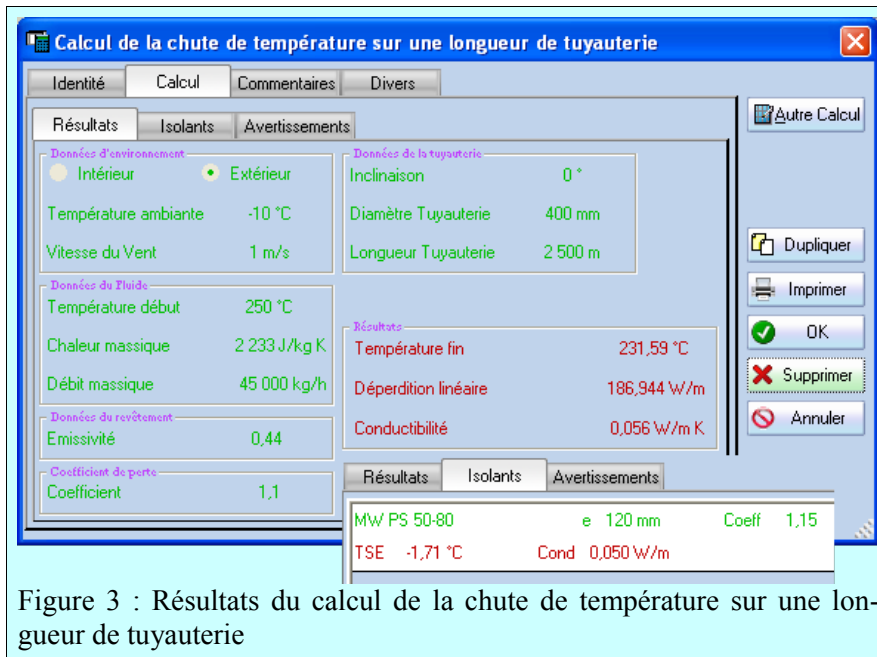


Figure 3 : Résultats du calcul de la chute de température sur une longueur de tuyauterie

se transformer petit à petit en glace, en utilisant la chaleur latente de la glace. On considère par expérience, que 25% du volume de la tuyauterie peut congeler sans gêner la remise en service du réseau. Ici, notre canalisation mettra 2j 2h 49m pour congeler à 25%. La durée totale, moins de 3 jours, peut sembler insuffisant dans certaines conditions. Il faudra alors apporter une compensation thermique. Si on met en place un traçage de 3 W/m, supérieure à la déperdition de congélation (2,671 W/m), il n'y aura pas formation de glace. Si la puissance linéique de ce traçage est inférieure à la déperdition de congélation, la durée de congélation est augmentée ; et si cette puissance est supérieure à la déperdition de refroidissement, l'eau ne se refroidit pas.

Chute de température le long d'une tuyauterie

La chaleur peut être transportée sur de longues distances, grâce à des fluides caloporteurs. Mais comme on a vu précédemment, l'isolation ne peut être totale. Il y aura des déperditions et donc une chute de la température le long de cette canalisation. Comme l'exploitant (par exemple en cogénération) veut garantir une température de service en fin de ligne, il faut pouvoir calculer cette chute en fonction des paramètres d'isolation.

La difficulté principale c'est de

connaître précisément la chaleur massique (ou capacité thermique massique) et le débit massique du fluide circulant. Comme la conductivité thermique, la chaleur massique varie en fonction de la température.

Dans l'exemple de la figure ci-dessus, nous limitons la chute de température à moins de 20° sur une longueur de 2,5 km en DN400 de vapeur surchauffée, en utilisant 120 mm de coquilles de laine de roche

en 50 à 80 kg/m³.

Cette méthode est aussi utilisable pour contrôler l'efficacité du calorifuge, si les tuyauteries sont équipées de sondes de température du fluide circulant.

Émissions des gaz à effet de serre

Comme le montre une étude de McKinsey en 2007, l'isolation peut permettre d'ici 2030, d'éviter à un coût très économique, les émissions de gaz à effet de serre (GES), comme le gaz carbonique. CaloX-Pert permet de calculer ces émissions pour des équipements non isolés et isolés. Ce calcul dépend de la déperdition, mais aussi des sources d'énergie et de la durée de consommation de ces sources. Ainsi dans l'exemple de la figure ci-dessous, le contexte est un site n'utilisant que du gaz naturel et fonctionnant 8766 heures dans l'année, nous avons pour un mètre de DN 100, une déperdition de plus de 3200 W/m, et sachant qu'un kWh de gaz naturel produit 64 grammes d'équivalent carbone (donnée disponible dans la base de connaissances de CaloXPert), nous obtenons près de 1,8 tonne d'équivalent carbone par année de fonctionnement. Nous

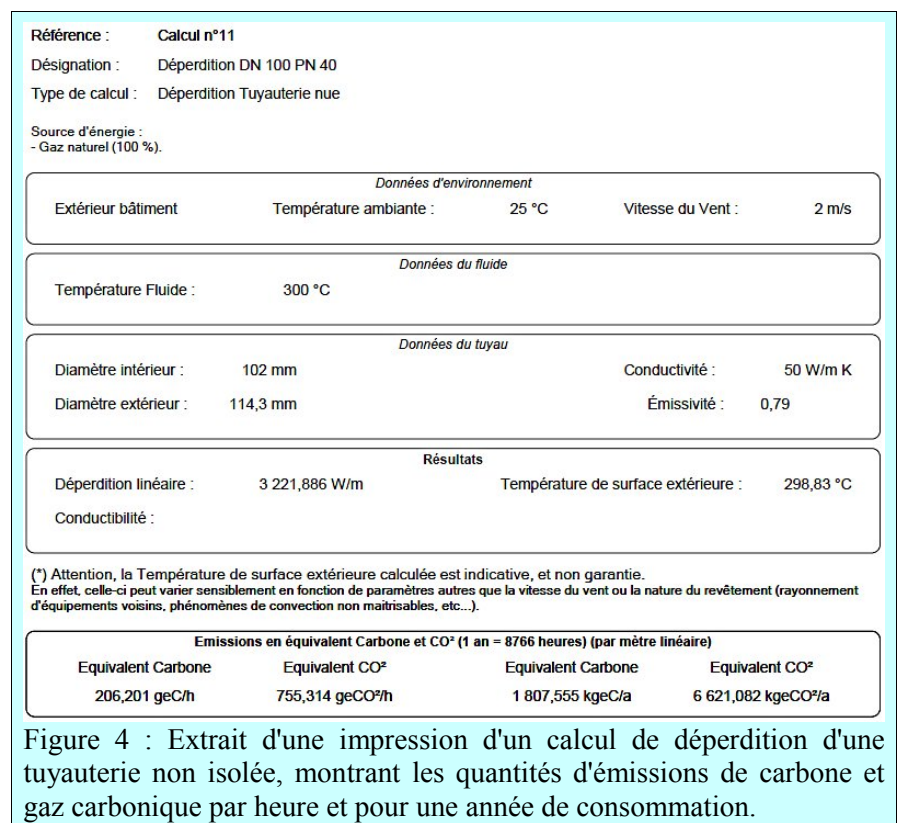


Figure 4 : Extrait d'une impression d'un calcul de déperdition d'une tuyauterie non isolée, montrant les quantités d'émissions de carbone et gaz carbonique par heure et pour une année de consommation.

avons refait ce calcul pour la même tuyauterie, isolée en laine de roche sur une épaisseur de 100 mm, et nous obtenons 106 W/m et 60 kg d'équivalent carbone. En final, nous avons évité l'émission de 96,7 % de gaz à effet de serre.

Vers une épaisseur écologique d'isolation

Les gros utilisateurs d'isolation ont voulu optimiser leur consommation d'isolants. C'est pourquoi nombre d'entre eux ont établis des tableaux d'épaisseurs à partir de la méthode du calcul économique (ou rentable) d'isolation. Si les coûts d'exploitation, surtout liés aux dépenses d'énergies, sont décroissants avec l'épaisseur d'isolation, les coûts d'investissements (mise en place d'une nouvelle isolation) sont croissants avec l'épaisseur. Le coût global, somme des deux coûts précédents, est minimale pour une épaisseur optimale.

Ces calculs nécessitant de nombreux paramètres venant de sources diverses, en pratique, ces études sont extrêmement rares. Les derniers tableaux d'épaisseurs déterminés par cette méthode ont été réalisés, après les chocs pétroliers des années 1970. Une étude que nous avons menée avec des étudiants de l'École Centrale de Lyon, avec la participation d'un grand groupe chimique, montre que les épaisseurs trouvées sont largement supérieures à celles utilisées jusqu'à maintenant. Pour les grands sites industriels et tertiaires soumis au quota de gaz carbonique (le plan national d'affectation des quotas [PNAQ] concerne plus de 1100 sites en France), il faut adapter cette méthode, puisqu'on ajoute dans les coûts d'exploitation, le prix de la tonne de CO₂ (~30 €/t). Cette épaisseur écologique d'isolation est supérieure de l'ordre de 10% à l'économique.

Réglementation thermique sur les tuyauteries

Bibliographie

Calosoft, Cours de formation aux études de calorifugeage, 2009
 A cost curve for greenhouse gas reduction, The McKinsey Quarterly, 2007
 Jean Danckaert, L'isolation thermique industrielle,

1981

G. Ballot, Guide pratique de l'isolation frigorifique, 1972

R. Gasquet, Isolation thermique industrielle, 1966

J.S. Cammerer, Les procédés employés dans l'industrie contre la déperdition de la chaleur et du froid, 1934

Figure 5 : Calcul des propriétés de l'air humide, notamment la température de rosée

Alors que la réglementation thermique (RT) 2005 traite largement de l'isolation des parois de bâtiment, cette même réglementation est assez discrète sur l'isolation des équipements, notamment les tuyauteries. Trois arrêtés sont concernés, du 24 mai 2006, sur les caractéristiques thermiques des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments, du 3 mai 2007, sur les caractéristiques thermiques et performance énergétique des bâtiments existants et du 13 juin 2008, sur la performance énergétique des bâtiments existants de surface supérieure à 1000 mètres carrés, lorsqu'ils font l'objet de travaux de rénovation importants. En gros, ces arrêtés demandent, que dans les endroits non chauffés, les réseaux d'eau chaude sanitaire aient une isolation de classe 1, les réseaux d'eau de chauffage aient une isolation de classe 2 et que les systèmes de refroidissement aient une isolation de classe 3. Rappelons que les classes d'isolation sont définies dans la norme européenne EN 12828, de la classe 1, moins performante, à la classe 6, plus performante. Ces classes sont fonction d'un coefficient de transmission linéique (inverse d'une résistance thermique),

appelé dans les arrêtés coefficient de perte. La toute dernière version de CaloXPert permet de sortir pour un isolant donné, des tableaux d'épaisseurs pour les 6 classes d'isolation.

Autres calculs

Si nous avons vu principalement des exemples de calcul sur les tuyauteries, il existe des calculs analogues pour les appareils à face plane. N'importe quelle forme d'appareil, même une tuyauterie, dont la dimension moyenne est supérieure à un mètre, peut être assimilée à un appareil à face plane. Dans le cas des fluides pouvant se solidifier à une certaine température, il faut utiliser le type, calcul de la durée de refroidissement d'un réservoir. Pour les problèmes de condensation, on peut calculer la température de rosée, avec les propriétés de l'air humide.

Conclusion

Nous aurions pu parler des isolants et de leur mise en œuvre, mais ce sera l'objet d'un autre article. Nous attendons la publication, probablement en 2010, des normes européennes sur les isolants (EN 14303 à EN 14319), pour continuer sur ce vaste sujet méconnu.