



AGENCE NATIONALE POUR  
LA MAÎTRISE DE L'ÉNERGIE  
A N M E



**Agence Nationale pour la Maîtrise de l'Énergie**

**Programme de Promotion de l'Utilisation du  
Chauffe-eau Solaire en Tunisie**

**PROSOL COLLECTIF**

**TERMES DE REFERENCE CONCERNANT  
L'ÉTUDE DE FAISABILITE DES  
INSTALLATIONS SOLAIRES COLLECTIVES**

## **1. INTRODUCTION:**

L'étude de faisabilité d'un projet d'installation solaire collective de chauffage de l'eau chaude sanitaire constitue, dans le cadre du projet PROSOL – Tunisie, l'ultime étape pour juger de la pertinence du projet et de sa faisabilité technico-économique.

L'étude de faisabilité fait partie intégrante de la mission S<sub>0</sub> telle que définie dans le « *Cahier des Charges concernant l'éligibilité des Prescripteurs & Contrôleurs Techniques* », et dont la consistance est rappelé ci-dessous :

### **Mission S0** - Préparation du dossier d'avant-projet détaillé et du dossier financier (APD-DF)

Cette mission consiste à élaborer la première ébauche des dossiers d'études du projet. Elle concerne la réalisation de l'étude de faisabilité du projet permettant un pré-dimensionnement des différentes composantes de l'installation, et une estimation préliminaire de son coût. Elle se traduit par la préparation des éléments suivants :

#### ✦ **Un dossier technique** comprenant :

- ✓ un *rapport* à caractère à la fois descriptif, explicatif et justificatif : Ce rapport doit être élaboré sur la base d'une démarche d'étude de faisabilité technico-économique conformément aux présents termes de référence. Cette démarche a pour objectif de juger de l'opportunité de l'opération et d'évaluer son intérêt potentiel en fonction de la nature des besoins d'eau chaude sanitaire du projet (importance et variation saisonnière) et de l'existence de contraintes techniques ou architecturales fortes, et ce à partir des éléments suivants :

- l'examen des possibilités en terme de dimensionnement des composantes de l'installation (captage, transfert, stockage, distribution et régulation) en tenant compte des différentes contraintes identifiées, et estimation des coûts directs et indirects occasionnés et des économies prévisionnelles résultantes de ces différentes configurations possibles
- le choix d'une configuration, parmi celles qui sont possibles, sur la base d'une approche d'optimisation économique des performances thermiques (contribution solaire optimale) par rapport au coût de réalisation et aux économies escomptées

Le rapport doit en outre indiquer, pour la solution finale proposée, l'énergie conventionnelle substituée, les économies d'énergie projetée et les réductions de gaz à effet de serre résultantes.

- ✓ *un dossier de documents graphiques* comprenant: Le plan d'implantation de l'installation, son schéma de principe, les plans d'implantation des divers équipements (capteurs, ballons de stockage, échangeurs, etc.) et réseaux de l'installation, indiquant clairement le couplage de l'installation de CES avec l'installation existante de production d'eau chaude sanitaire et/ou le dispositif d'appoint préconisé.

#### ✦ **Un dossier économique** comprenant, pour la solution finale proposée:

- ✓ Une estimation des coûts directs associés à l'installation de CES par composante : captage, transfert, stockage, distribution, régulation et dispositif d'appoint ou de couplage avec l'installation existante de production d'eau chaude sanitaire,
- ✓ une estimation des coûts indirects associés à l'installation de CES : construction d'un éventuel nouveau local technique ou agrandissement d'un local technique projeté, supportage et/ou renforcement des structures existantes ou projetées,
- ✓ le montant des contrats du prescripteur, contrôleur technique et autres éventuels intervenants,
- ✓ les fluctuations prévisibles des prix, les frais financiers, et une réserve globale couvrant l'ensemble des taux de tolérance des diverses estimations,
- ✓ Le montant global récapitulatif de l'estimation du projet ainsi que le schéma de financement proposé, en tenant compte des mécanismes d'appuis du programme PROSOL.

Le dossier économique doit en outre comprendre une estimation des coûts annuels pour l'entretien & la maintenance des équipements, ainsi que pour le contrôle à distance. Il doit aussi indiquer les prévisions concernant les économies réalisées au niveau du coût d'exploitation (énergie conventionnelle substituée), le temps de retour brut et le coût global actualisé sur la durée de vie de l'installation en le comparant à celui estimé sans le recours à l'installation de CES.

## **2. OBJECTIF:**

L'étude de faisabilité d'un projet d'installation solaire thermique de production d'eau chaude sanitaire a pour objectif de juger de l'opportunité du projet et d'évaluer son intérêt potentiel en fonction de la nature des besoins d'eau chaude (importance et régularité annuelle), des contraintes techniques liées aux installations techniques existantes, et des contraintes architecturales pouvant influencer le choix, la taille et l'implantation du système.

La démarche consiste à réaliser les tâches suivantes:

- dimensionnement de l'installation prenant en compte les différentes contraintes,
- Evaluation des coûts directs et indirects de l'installation,
- Evaluation des économies prévisionnelles.

Les éléments à fournir par le prescripteur doivent être présentés de manière claire permettant au maître de l'ouvrage et à l'ANME de retrouver les critères techniques, économiques et environnementaux qu'il faut prendre en considération dans le processus décisionnel concernant le projet d'installation solaire thermique de production d'eau chaude sanitaire.

Certains points du document (inventaire des consommations des énergies conventionnelles, relevé des consommations d'eau chaude sanitaire, etc.) peuvent être effectués en interne, par le responsable énergie ou le gestionnaire technique de l'établissement. Ces informations seront alors fournies au prescripteur qui les vérifiera et les utilisera pour dimensionner l'installation solaire thermique de production d'eau chaude sanitaire.

## **3. TACHES A REALISER DANS LE CADRE DE L'ETUDE DE FAISABILITE**

### **3.1 Visite de l'établissement**

#### ***3.1.1 Caractéristiques de l'établissement***

Le prescripteur effectuera la visite de l'établissement en présence d'un responsable technique qui le guidera et lui donnera accès aux locaux techniques, aux toitures ainsi qu'aux principaux lieux de puisage de l'eau chaude (douches, cuisines,...).

#### ***3.1.2 Installation existante de production d'eau chaude sanitaire***

Le prescripteur :

- examinera les installations existantes de production d'eau chaude sanitaire existantes et effectuera des recommandations quant à leur maintien ou leur remplacement éventuel ;
- effectuera l'inventaire des éléments existants à maintenir sur la base d'un contrôle visuel et vérifiera que leur dimensionnement actuel est adéquat.

#### ***3.1.3 Inventaire des consommations d'énergie de l'établissement***

Le prescripteur fera l'inventaire des consommations des énergies conventionnelles utilisées pour la production d'eau chaude sanitaire et présentera un tableau des consommations mensuelles estimées ou mesurées in situ.

#### ***3.1.4 Estimation et mesure de la consommation d'eau chaudesanitaire***

L'analyse des besoins constitue le travail indispensable et préliminaire à l'étude d'une installation et au choix des appareils de production.

A partir d'une estimation correcte des besoins, les outils de calcul et de dimensionnement permettent une bonne évaluation des performances prévisionnelles des installations.

La Garantie de Résultats Solaire (GRS) est basée sur la productivité énergétique prévisionnelle d'une installation, calculée à partir de l'estimation préalable des besoins. Il est donc primordial que ceux-ci soient connus avec la meilleure précision possible.

Lorsqu'on ne dispose pas de données mesurées sur les consommations réelles d'eau chaude sanitaire, les besoins journaliers peuvent être estimés sur la base des quantités d'eau nécessaire pour les principaux usages élémentaires conventionnels en tenant compte du fait que les soutirages n'ont pas tous lieu en même temps (coefficient de simultanéité)

Si le suivi des consommations d'eau chaude sanitaire est assuré en interne par un responsable technique, le maître de l'ouvrage devra préciser la fréquence de ces relevés, et le prescripteur s'assurera que les éléments suivants lui soient transmis au cours de la visite de l'établissement :

- Données de fréquentation (moyenne mensuelle du nombre d'usagers pour une année complète) ou d'occupation : nombre de lits, de chambres ou d'appartements / taux d'occupation moyen;
- Relevés périodiques des consommations de combustible par unité de production d'eau chaude ;
- Référence(s) du (des) compteur(s) d'eau chaude sanitaire existant(s) ayant servi de base aux mesures de consommation d'eau;
- Relevés mensuels de la consommation d'eau chaude sanitaire pour une année complète ;
- Relevés quotidiens du débit et de la température de l'eau chaude sanitaire consommée dans le bâtiment pendant 6 semaines consécutives (campagne de mesures).

Dans le cas où une campagne de mesures s'impose, elle doit couvrir au minimum 40 jours d'occupation normale de l'établissement et doit inclure :

- Une mesure quotidienne du volume  $V_{ECS}$  ( $m^3$ /jour) d'eau chaude sanitaire effectivement délivrés aux points de puisage;
- Une mesure quotidienne de la température de l'eau chaude sanitaire (précision +/- 1 °C) ;
- Un relevé quotidien du nombre d'occupants/usagers de l'établissement.

Le prescripteur déterminera si une campagne de mesures doit être effectuée dans le cadre de l'étude de faisabilité du projet, justifiera sa recommandation en se basant sur une analyse détaillée des informations disponibles et mentionnera explicitement les tâches à réaliser ainsi que le format dans lequel le résultat des mesures devront être fournis en vue de leur exploitation ultérieure. Le maître de l'ouvrage se chargera alors de la réalisation de la campagne de mesure.

### **3.1.5 Traitement des données**

L'analyse statistique des données de consommation d'énergie et d'eau chaude sanitaire devra permettre au minimum :

- L'établissement d'un profil de puisage mensuel, hebdomadaire et journalier, nécessaire au pré-dimensionnement de l'installation de chauffage solaire de l'eau chaude sanitaire;
- Fournir une indication de la performance de l'établissement en terme de consommation rationnelle de l'eau chaude sanitaire (par exemple, en croisant les données mesurées avec les ratios de consommation généralement utilisés pour le type d'établissement considéré) ;
- Fournir une ou plusieurs propositions pertinentes visant à réduire les consommations d'eau chaude sanitaire de l'établissement ;

## **3.2 Couplage de l'installation solaire avec les installations existantes**

Ce point vise à déterminer la possibilité de connexion de l'installation solaire aux installations existantes de production d'eau chaude sanitaire, compte tenu des contraintes techniques (encombrement du local technique, place disponible, orientation de la toiture, etc.), ainsi que des opportunités présentes pour une intégration optimale de l'installation solaire dans les installations existantes (travaux de rénovation prévus, etc.).

### **3.2.1 Inventaire des composants de l'installation**

Le prescripteur effectuera l'inventaire des éléments nouveaux à placer pour garantir le bon fonctionnement de l'ensemble de l'installation (solaire + appoint), notamment :

- Les capteurs ou kits solaires et leur support (supports, accessoires de fixation, etc.);
- Les conduites (tuyauteries, calorifuge, supports, etc.) ;
- Le(s) ballon(s) de stockage ;
- Les pompes / circulateurs ;
- Le chauffage d'appoint ;
- La régulation solaire, les calorimètres, ... ;
- Le dispositif anti-légionellose ;

Il s'agit à ce stade d'un simple inventaire, pas d'un métré détaillé.

### **3.2.2 Contraintes et opportunités à l'installation solaire thermique collective**

Le prescripteur indiquera tous les points d'attention (contraintes et opportunités) relatifs à la mise en oeuvre des nouveaux composants et aux modifications à apporter à l'installation existante pour assurer la bonne intégration de l'installation de CES.

- Intégration des capteurs en terme d'exigences architecturales et structurelles (harmonie architecturale et stabilité) : L'harmonie architecturale est un élément important de la réussite de l'intégration des éléments solaires dans une construction. Des solutions d'intégration architecturale sont à explorer avec l'architecte du projet. Par ailleurs, Dans le cas de la mise en oeuvre des capteurs solaires sur des toitures existantes, des dispositions particulières doivent être prises moyennant, si nécessaire, une étude complémentaire concernant notamment la reconnaissance des éléments porteurs de la structure, de la couverture existante, du complexe d'étanchéité ainsi que l'incidence sur le cheminement des eaux. Dans tous les cas, la stabilité du champ de capteurs doit être étudiée en tenant compte du poids propre des capteurs et des effets dus aux charges climatiques, conformément aux règles en vigueur :
- Intégration des capteurs en terme d'exigences d'ensoleillement (ombrage, orientation et inclinaison) : Dans la pratique, les capteurs solaires doivent être installés de manière à ce que les périodes durant lesquelles tout ou partie du champ n'est pas ensoleillée du fait d'obstacles environnants soient de faible durée (on considère que cette condition est remplie si, dans le cas de journées non nuageuses, toute la surface du champ de capteurs bénéficie d'un ensoleillement direct d'au moins 4 heures par jour durant le mois de décembre et d'au moins 8 heures par jour durant le mois de juin. En Tunisie, l'inclinaison normale des capteurs solaires varie en général entre 30 degrés et 40 degrés par rapport à l'horizontale pour une utilisation annuelle. Cependant, sur des toitures inclinées, les capteurs sont généralement installés dans le plan de la toiture, pour des raisons d'esthétique et de tenue aux charges climatiques (vent et neige). D'autre part, il y'a lieu de déterminer, l'influence des ombres causées par des obstacles éloignés en déterminant les angles de l'ombre portée à l'aide d'abaques solaires ou de règles à calculer.
- Intégration du (des) ballon(s) et autre matériel (échangeurs, pompes, etc.) en terme de distance par rapport à l'appoint, aux capteurs, encombrement du local technique, résistance du sol à la surcharge pondérale, etc.;
- Intégration s des conduites en terme de distance entre stockage et réseau de distribution, place disponible dans les gaines techniques, percements « sensibles », calorifuge des boucles de circulation, température de l'eau de distribution.

### **3.3 Dimensionnement de l'installation solaire thermique collective**

Les paramètres ayant le plus d'influence sur la taille, le coût et la production du système solaire sont :

- Le volume d'eau chaude sanitaire consommé quotidiennement
- Les variations saisonnières de la consommation d'eau chaude sanitaire
- La température de stockage ou de distribution de l'eau chaude sanitaire

Pour obtenir un dimensionnement fiable de l'installation solaire, le prescripteur veillera à se procurer les données nécessaires à la détermination d'un profil de consommation ou demandera à réaliser les mesures nécessaires à l'établissement d'un tel profil.

### ***3.3.1 Schéma de principe de l'installation solaire de production d'eau chaude sanitaire***

Le prescripteur fournira un schéma de principe indiquant le mode de fonctionnement de l'installation de chauffage de l'eau chaude sanitaire, ainsi que ses principaux composants de production d'eau chaude solaire.

Les composants qui doivent impérativement figurer sur ce schéma sont :

- Les capteurs (ou systèmes unitaires) solaires ;
- Le (ou les) ballon(s) de stockage à mettre en oeuvre ;
- Le circuit primaire (reliant les capteurs à l'échangeur de chaleur), et ses principaux accessoires ;
- Le circuit sanitaire et ses principaux accessoires ;
- La régulation solaire et ses principaux organes ;
- Le système d'appoint (ballon de stockage existant inclus, s'il est maintenu) ;
- Les connexions entre l'installation solaire et le système existant.

### ***3.3.2 Résultat du dimensionnement***

Le prescripteur précisera notamment :

- La méthode utilisée pour le dimensionnement de l'installation de chauffage solaire de l'eau chaude sanitaire et la recherche de la taille optimale ;
- Les hypothèses de coûts (avec ou sans les frais d'installation, avec ou sans entretiens, type de financement, prix de l'énergie de référence, etc.) qui ont été retenues ainsi que les raisons du choix de ces hypothèses ;
- L'outil de simulation utilisé pour dimensionner la surface du champ de capteurs et le volume du (des) ballon(s) de stockage et le type de simulation effectuée (par ex : simulation dynamique sur base de données météorologiques horaires pour une année de référence complète).

## **3.4 Bilans de l'installation du chauffe-eau solaire prévu**

### ***3.4.1 Bilan énergétique***

Le prescripteur fournira :

- Une estimation des apports solaires annuels moyens ;
- Le calcul de l'économie de combustible annuelle que permet le système solaire ;
- Le calcul de la quantité de combustible consommée par l'appoint, avec et sans chauffe eau solaire ;
- Une estimation des pertes thermiques de distribution d'eau chaude ;
- Les mesures préconisées, à mettre en oeuvre pour limiter ces pertes.

### ***3.4.2 Bilan économique***

Le prescripteur fournira :

- Le montant de l'investissement, avec et sans subvention ;
- Une estimation du coût de la maintenance ;
- Une estimation de la rentabilité de l'investissement avec et sans subvention ;
- Le calcul du coût de l'investissement et de la maintenance du système solaire par kWh de combustible économisé ;
- Une comparaison du coût de l'investissement solaire par kWh de combustible économisé avec le coût actuel du kWh de combustible utilisé ordinairement pour produire l'eau chaude sanitaire (détermination du seuil de rentabilité à la date de démarrage de l'étude) ;
- L'impact sur la rentabilité de l'investissement solaire en cas de recours simultané à une mesure d'amélioration de l'efficacité énergétique telle que l'installation d'une unité de cogénération, de

chaudière(s) à condensation ou de récupérateur de chaleur permettant le préchauffage de l'eau chaude sanitaire.

### **3.4.3 Bilan environnemental**

Le prescripteur fournira :

- Une estimation des émissions de CO2 évitées, par an et sur la durée de vie de l'installation;
- Une estimation du coût de la tonne de CO2 évitée, avec et sans subvention.

### 3.5 Tableau récapitulatif des résultats

Tous les éléments décisionnels devront être quantifiés et présentés de manière synthétique, au début ou à la fin du rapport concernant l'étude de faisabilité.

Le tableau de synthèse des résultats comprendra, au minimum et pour chacune des options envisagées, les données de base et éléments décisionnels suivants :

<b>Consommations actuelles du bâtiment</b> Consommation d'eau chaude sanitaire Consommation d'énergie Facture(s) annuelle(s) d'énergie	m <sup>3</sup> d'eau à 45°C par an kWh de combustible par an DT                      Année(s)	
<b>Pré-dimensionnement de l'installation solaire</b> Superficie des capteurs Volume de stockage ➤ solaire ➤ appoint	<b>OPTION « i »</b> m <sup>2</sup>  litres litres	<b>OPTION « n »</b> m <sup>2</sup>  litres litres
<b>Bilan énergétique de l'installation solaire</b> Économie annuelle de combustible Économie de combustible	kWh %	kWh %
<b>Bilan économique sans subvention</b> Coût du système solaire sans subventions DT HTVA Économie annuelle DT /an Coût du système solaire par kWh de combustible économisé Temps de retour	DT HTVA DT/an DT/litre  Années	DT HTVA DT/an DT/litre  Années
<b>Bilan économique avec subvention</b> Coût du système solaire avec subventions Économie annuelle Coût du système solaire par kWh de combustible économisé Temps de retour	DT HTVA DT/an DT/litre  Années	DT HTVA DT/an DT/litre  Années
<b>Bilan environnemental</b> Émissions de CO2 évitées par an Émissions de CO2 évitées sur 25 ans de durée de vie Coût de la tonne de CO2 évitée	kg CO2 /an Tonne(s) DT/tonne	kg CO2 /an Tonne(s) DT/tonne

### 3.6 Conclusions / Recommandations

En guise de conclusion, le prescripteur indiquera l'option retenue pour l'installation de chauffage solaire de l'eau chaude sanitaire et explicitera les raisons de son choix.

Il rappellera dans la conclusion les recommandations éventuelles relatives :

- A la réduction de la consommation d'eau chaude sanitaire;
- Au remplacement de composants de l'installation de production d'eau chaude sanitaire existante;
- A la lutte contre la prolifération des bactéries dans l'installation sanitaire.



#### **4. DIRECTION ET SUIVI DE L'EXECUTION DES TRAVAUX.**

Le prescripteur assurera un encadrement technique adéquat de la réalisation des travaux sur la base des tâches suivantes:

- L'examen et l'approbation du dossier d'exécution de l'installateur (pièces graphiques et notices techniques des équipements proposés) avant sa transmission à l'ANME ;
- Le suivi périodique et la direction de la réalisation de l'installation en assistant aux réunions de chantier et en formulant les instructions nécessaires à la bonne exécution des travaux et à leurs conformités aux pièces du marché ;
- L'établissement du procès verbal de la réception provisoire et définitive des travaux. La réception définitive des travaux étant prononcée dans un délai de deux ans à partir de la réception provisoire ;
- L'examen et l'approbation du dossier de recollement de l'installation préparé par l'installateur ;
- L'examen et approbation du contrat de maintenance.

#### **5. VERIFICATION DES PROPOSITIONS DE REGLEMENTS DES TRAVAUX.**

Cette mission consiste à établir avec l'installateur les métrés contradictoires des ouvrages réalisés et à vérifier les décomptes des propositions de règlement de l'installateur.

## **Annexe 1**

### **Dispositifs de mesure de la consommation d'eau chaude sanitaire**

## **Annexe : Dispositifs de mesure de la consommation d'eau chaude**

Pour dimensionner correctement un chauffe-eau solaire, il faut connaître la consommation d'eau chaude sanitaire (ECS) de l'établissement. Cette consommation peut parfois être estimée mais l'expérience montre que rien ne vaut une mesure réelle de la consommation d'eau chaude. L'installation d'un débitmètre et d'un thermomètre est nécessaire à cette fin. Nous vous expliquons ci-dessous comment installer ces appareils ou vérifier les caractéristiques des équipements de mesures préexistants.

### **A.1 Le débitmètre**

Le débitmètre sert à mesurer la consommation d'eau. Le débitmètre installé sur l'arrivée d'eau de ville par la société de distribution d'eau ne suffit pas car il mesure généralement la consommation totale (eau froide + eau chaude) de l'établissement.

Le débitmètre pour l'ECS sera de préférence installé sur la conduite froide **juste avant le dispositif de production d'eau chaude**.

La Figure 1 schématise les emplacements conseillés pour installer le débitmètre (D). D'autres configurations sont possibles, mais les schémas représentent la configuration optimale dans la majorité des cas. Si l'installation du débitmètre vous pose un problème, contactez le Facilitateur Energie Solaire Thermique.

Dans le cas des piscines, il faut mesurer, outre le débit d'ECS, le débit de l'eau de renouvellement des bassins. En principe cela se fera par l'installation d'un débitmètre supplémentaire à l'entrée du bac tampon, ou tout autre endroit approprié.

Une fois le débitmètre installé, un relevé quotidien effectué pendant une période de min. 40 jours d'occupation normale des installations constitue une mesure utilisable pour la déterminer le profil de puisage de l'établissement.

Si vous faites installer un débitmètre à impulsions, le relevé des consommations d'eau chaude peut être automatisé. Ce type de débitmètre (plus cher à l'achat) génère des impulsions en fonction du débit, qui peuvent être enregistrées par un acquéreur de données.

Vous êtes évidemment libres d'installer un débitmètre avec ou sans sortie d'impulsions ; cependant dans le cadre des audits solaires Soltherm, les 5 premiers établissements sélectionnés, qui disposent d'un débitmètre à impulsions bénéficieront d'une acquisition automatique de données, effectuée grâce à un acquéreur de données mis à disposition durant 6 semaines par le responsable des audits solaires.

Le coût du débitmètre dépend de plusieurs facteurs :

- le type de débitmètre : avec ou sans sortie d'impulsions
- son principe de fonctionnement : turbine monojet, turbine à jet multiple ou à ultrasons
- le diamètre de la conduite
- la marque

Le principe de fonctionnement du débitmètre n'est pas très important pour mesurer la consommation d'ECS. Une turbine simple (ou turbine à jet unique) suffit pour les petits

diamètres, pour les diamètres supérieurs à DN32, un débitmètre à jet multiple est conseillé.

Le Tableau 1 donne une indication du coût (HTVA) de différents types de débitmètre, hors installation. Ces prix sont renseignés de manière indicative pour trois marques courantes de matériel de mesures de débit. Il en existe d'autres.

Si pour un diamètre donné, vous avez le choix entre plusieurs débits nominaux, choisissez toujours le débitmètre avec le plus grand débit nominal. Si vous achetez un débitmètre à impulsions, choisissez toujours un niveau d'impulsion de 1 à maximum 5 litres/impulsion.

## **A.2 Le Thermomètre**

Au niveau du contenu énergétique, il y a une grande différence entre une production d'eau chaude à 40°C ou à 60°C. Dès lors, il est crucial de mesurer la température correspondant au débit d'eau chaude mesuré. Un relevé quotidien de la température de l'eau chaude stockée suffit, le thermomètre utilisé peut être du type à cadran. Ces thermomètres offrent une précision suffisante, au degré près, pour les besoins de l'audit.

Le thermomètre sera de préférence de type 'bimétallique à doigt de gant'. Un thermomètre d'applique peut également convenir, à condition que la conduite soit correctement isolée et que l'isolation ne soit pas interrompue à la hauteur du thermomètre.