

ICS 91.010.30

Descripteurs: génie civil, pont, résistance thermique, mesurage thermique, dilatation thermique, calcul, analyse statistique, température

Version Française

Eurocode 1: Bases de calcul et actions sur les structures - Partie 2-5: Actions sur les structures - Actions thermiques

Eurocode 1: Grundlagen der Tragwerksplanung und
Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 2-5: Einwirkungen auf
Tragwerke - Temperatureinwirkungen

Eurocode 1: Basis of design and actions on structures -
Part 2-5: Actions on structures - Thermal actions

La présente Prénorme européenne (ENV) a été adoptée par le CEN le 28 novembre 1996 comme norme expérimentale pour application provisoire.

La période de validité de cette ENV est limitée initialement à trois ans. Après deux ans, les membres du CEN seront invités à soumettre leurs commentaires, en particulier sur l'éventualité de la conversion de l'ENV en Norme européenne.

Il est demandé aux membres du CEN d'annoncer l'existence de cette ENV de la même façon que pour une EN et de rendre cette ENV rapidement disponible au niveau national sous une forme appropriée. Il est admis de maintenir (en parallèle avec l'ENV) des normes nationales en contradiction avec l'ENV en application jusqu'à la décision finale de conversion possible de l'ENV en EN.

Les membres du CEN sont les organismes nationaux de normalisation des pays suivants: Allemagne, Autriche, Belgique, Danemark, Espagne, Finlande, France, Grèce, Irlande, Islande, Italie, Luxembourg, Norvège, Pays-Bas, Portugal, République Tchèque, Royaume-Uni, Suède et Suisse.



COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION
EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION

Secrétariat Central: rue de Stassart, 36 B-1050 Bruxelles

Sommaire

Avant-propos	3
Section 1 Généralités	6
1.1 Domaine d'application.....	6
1.2 Références normatives	7
1.3 Distinction entre les principes et les règles d'application	8
1.4 Définitions	8
1.5 Symboles	9
Section 2 Classification des actions	11
Section 3 Situations de projet.....	12
Section 4 Représentation des actions	13
Section 5 Variations de température dans les bâtiments	14
5.1 Généralités.....	14
Section 6 Variation de température dans les ponts.....	16
6.1 Tabliers des ponts.....	16
6.2 Piles de ponts	21
Section 7 Variations de température dans les cheminées industrielles et les conduites	22
7.1 Généralités.....	22
7.2 Composantes de température - valeurs caractéristiques	22
7.3 Actions thermiques à considérer	23
7.4 Détermination des composantes de la température	23
7.5 Valeurs caractéristiques des composantes de la température (valeurs indicatives).....	23
7.6 Simultanéité des actions.....	24
Annexe A (informative) Isothermes des températures nationales maximale et minimale de l'air sous abri	26
A.1 Généralités.....	26
A.2 Valeurs maximale et minimale de la température de l'air sous abri pour des périodes de retour différentes de 50 ans.....	26
A.3 Liste des cartes nationales d'isothermes de la température maximale et minimale sous abri	28
Annexe B (normative) Modèles pour l'évaluation des actions thermiques non-linéaires dans les ponts.....	54
B.1 Généralités	54
B.2 Effet de l'épaisseur du revêtement.....	54
Annexe C (informative) Détermination des effets de température dans les tabliers de ponts	58
C.1 Généralités	58
C.2 Calcul du profil de température à travers l'épaisseur du tablier de pont.....	58
C.3 Données climatiques	59
C.4 Données structurales	59
C.5 Détermination des écarts de température.....	59
C.6 Analyse statistique	61
Annexe D (informative) Coefficients de dilatation linéaire	62

Avant-propos

La présente prénorme européenne a été élaborée par le Comité Technique CEN/TC 250 « 'Eurocode structuraux » dont le secrétariat est assuré par l'AFNOR.

Le texte de la présente prénorme a été soumis au vote formel des membres du CEN/CENELEC et approuvé le 30 juin 1993.

Selon le Règlement Intérieur du CEN/CENELEC, les instituts de normalisation nationaux des pays suivants sont tenus d'annoncer l'existence de la présente prénorme européenne : Allemagne, Autriche, Belgique, Danemark, Espagne, Finlande, France, Grèce, Irlande, Islande, Italie, Luxembourg, Norvège, Pays-Bas, Portugal, Royaume-Uni, Suède et Suisse.

Objectifs des Eurocodes

- (1) Les "Eurocodes Structuraux" regroupent un ensemble de normes pour le calcul des structures et fondations des ouvrages de bâtiment et de génie civil.
- (2) Ils ne traitent de l'exécution et du contrôle que dans la mesure où il est nécessaire de préciser la qualité des produits de construction et le niveau de réalisation à satisfaire pour être conforme aux hypothèses adoptées dans les règles de calcul.
- (3) Jusqu'à ce que l'ensemble des spécifications techniques harmonisées concernant les produits ainsi que les méthodes de contrôle de leurs performances soit disponible, un certain nombre d'Eurocodes Structuraux traitent certains de ces aspects dans des annexes informatives.

Historique du Programme Eurocodes

- (4) La Commission des Communautés Européennes (CCE) a entrepris le travail d'élaboration d'un ensemble de règles techniques harmonisées pour le calcul des ouvrages de bâtiment et de génie civil, règles destinées, au début, à être utilisées en alternative aux différents règlements en vigueur dans les divers États Membres et à les remplacer ultérieurement. Ces règles techniques sont connues sous le nom d'"Eurocodes Structuraux".
- (5) En 1990, après consultation de ses États Membres, la CCE a transféré au CEN la charge de poursuivre ce travail d'élaboration, de diffusion et de mise à jour des Eurocodes Structuraux et le secrétariat de l'AELE a accepté d'aider le CEN dans cette tâche.
- (6) Le Comité Technique CEN/TC 250 est responsable de tous les Eurocodes Structuraux.

Programme des Eurocodes

- (7) Le travail est en cours sur les Eurocodes Structuraux suivants, chacun étant généralement constitué de plusieurs parties :

- ENV 1991 : Eurocode 1 - Bases de calcul et Actions sur les Structures.
- ENV 1992 : Eurocode 2 - Calcul des Structures en béton.
- ENV 1993 : Eurocode 3 - Calcul des Structures en acier.
- ENV 1994 : Eurocode 4 - Calcul des Structures mixtes acier béton.
- ENV 1995 : Eurocode 5 - Calcul des Structures en bois.
- ENV 1996 : Eurocode 6 - Calcul des Structures en maçonnerie.
- ENV 1997 : Eurocode 7 - Calcul Géotechnique.

ENV 1998 : Eurocode 8 - Résistance des Structures au séisme.

ENV 1999 : Eurocode 9 - Calcul des Structures en Aluminium.

(8) Des sous-comités séparés ont été formés par le CEN/TC 250 pour les divers Eurocodes énoncés ci-dessus.

(9) Cette partie de l'Eurocode 1 est publiée en tant que prénorme européenne (ENV), pour une durée initialement fixée à trois ans.

(10) Cette prénorme est destinée à être appliquée, à titre expérimental, ainsi qu'à l'émission de commentaires.

(11) Au terme d'une durée approximative de deux ans, les membres du CEN seront invités à formuler des commentaires officiels qui seront pris en compte dans la détermination de l'action future.

(12) En attendant, réactions et commentaires sur cette prénorme devront être transmis au Secrétariat du CEN/TC 250/SC1 à l'adresse suivante :

SIS/BST (à partir de juin 1995)

Box 5630

S-114 86 STOCKHOLM

SUÈDE

ou à votre organisme national de normalisation.

Document d'Application Nationale (DAN)

(13) Étant donné les responsabilités des autorités des États Membres en matière de sécurité, santé et autres points couverts par les exigences essentielles de la DPC (Directive sur les Produits de Construction), des valeurs indicatives ont été attribuées à certains éléments de sécurité dans l'ENV qui sont identifiées par des "valeurs encadrées" . Il incombe aux autorités de chaque État Membre de vérifier les "valeurs encadrées" et éventuellement, d'attribuer des valeurs définitives à ces éléments de sécurité, pour un usage national.

(14) Certaines normes d'accompagnement européennes ou internationales peuvent ne pas être disponibles au moment de la publication de cette prénorme. Il est par conséquent prévu qu'un Document d'Application Nationale (DAN) donnant les valeurs définitives des éléments de sécurité, faisant référence aux normes d'accompagnement compatibles et précisant les directives nationales d'application de la prénorme soit publié par chaque État Membre ou son organisme de normalisation.

(15) Il est prévu que cette prénorme sera utilisée conjointement avec le DAN valable dans le pays où le bâtiment ou l'ouvrage de génie civil est situé.

Points spécifiques à la présente Prénorme.

(16) Le domaine d'application de l'Eurocode 1 est défini en 1.1.1. et celui de la présente partie de l'Eurocode 1 est définie en 1.1.2. Les Parties complémentaires de l'Eurocode 1 qui sont prévues sont indiquées en 1.1.3.

(17) La présente partie est complétée par plusieurs annexes normatives ou informatives. Les annexes normatives ont le même statut que les sections auxquelles elles se rapportent.

- (18) Les valeurs caractéristiques des isothermes des températures nationales minimales et maximales de l'air sous abri doivent être définies par l'autorité compétente sous forme de cartes ou autrement (voir annexe A). La valeur indiquée pour les actions caractéristiques doivent être conformes aux définitions données dans l'ENV 1991-1 à l'article 4.2.
- (19) Dans le DAN il faut tenir compte des effets locaux, qui ne peuvent pas être considérés dans l'analyse statistique des actions nationales.
- (20) Lorsqu'un doute subsiste concernant la validité des températures minimales et maximales de l'air sous abri recommandées, il convient que la procédure de consultation de l'autorité compétente, soit indiquée dans le DAN.

Section 1 Généralités

1.1 Domaine d'application

1.1.1 Domaine d'application de l'ENV 1991 - Eurocode 1

(1)P L'ENV 1991 fournit des principes généraux et des actions relatifs au dimensionnement des bâtiments et ouvrages d'art, ainsi que certains aspects géotechniques et doit être utilisée conjointement avec les ENV 1992 à 1999.

(2) Elle peut être utilisée également comme base de dimensionnement pour les structures non traitées par les ENV 1992 à 1999 et lorsque d'autres matériaux ou d'autres actions sont impliqués pour le calcul des structures.

(3) L'ENV 1991 s'applique aussi au calcul des structures en cours de construction, ainsi qu'au calcul des structures provisoires. Elle concerne toutes les circonstances dans lesquelles le comportement d'un ouvrage doit rester satisfaisant.

(4) L'ENV 1991 n'est pas destinée directement à l'évaluation structurale des ouvrages existants, pour les projets de réparation ou de modification, ni pour l'évaluation en vue de changements d'affectation.

(5) L'ENV 1991 ne concerne pas l'ensemble des situations de calcul particulières qui nécessitent des conditions de sécurité inhabituelles comme les structures nucléaires, pour lesquelles il convient d'utiliser des procédés de calcul spécifiques.

1.1.2 Domaine d'application de l'ENV 1991-2-5. Actions thermiques.

(1)P Cette partie donne des règles et les méthodes de calcul des actions thermiques agissant sur les bâtiments, les ponts et autres structures, y compris sur leurs composants structuraux. Des principes nécessaires pour les habillages extérieurs et autres éléments des bâtiments sont également donnés.

(2) La présente partie de l'Eurocode « Actions sur les structures » décrit les variations de température des éléments structuraux. Des valeurs caractéristiques des actions thermiques sont indiquées en vue de l'utilisation lors du dimensionnement des structures exposées à des variations climatiques journalières et saisonnières.

(3) Les structures pour lesquelles les actions thermiques dépendent principalement de leur utilisation (par exemple, les cheminées, les tours de refroidissement, silos, réservoirs, les installations de stockage d'eau chaude ou froide, les distributions d'eau chaude et froide) sont traitées dans la section 7.

(4) Les sujets suivants sont traités :

Partie 1 - Généralités

Partie 2 - Classification des actions

Partie 3 - Situations de projet

Partie 4 - Représentation des actions

Partie 5 - Variations de température dans les bâtiments

Partie 6 - Variations de température dans les ponts

Partie 7 - Différences de température dans les cheminées industrielles et les conduites

1.1.3 Autres parties de l'ENV 1991

(1) D'autres parties de l'ENV 1991 qui sont préparées ou projetées actuellement sont indiquées en 1-2.

1.2 Références normatives

Cette Prénorme européenne comporte, par des références datées ou non datées, des dispositions d'autres normes. Ces références normatives sont citées aux endroits appropriés dans le texte et les publications sont énumérées ci-après.

ISO 3898:1987, *Bases de calcul pour les structures - Notations. Symboles généraux.*

NOTE Les Prénormes européennes qui suivent, publiées ou en préparation, sont citées aux endroits appropriés dans le texte et les publications énumérées ci-après.

ENV 1991-1, *Eurocode 1 : Bases de calcul et actions sur les structures - Partie 1 : Bases de calcul.*

ENV 1991-2.1, *Eurocode 1 : Bases de calcul et actions sur les structures - Partie 2.1 : Densités, poids propres et charges d'exploitation.*

ENV 1991-2.2, *Eurocode 1 : Bases de calcul et actions sur les structures - Partie 2.2 : Actions sur les structures exposées au feu.*

ENV 1991-2.3, *Eurocode 1 : Bases de calcul et actions sur les structures - Partie 2.3 : Charges de neige.*

ENV 1991-2.4, *Eurocode 1 : Bases de calcul et actions sur les structures - Partie 2.4 : Actions du vent.*

ENV 1991-2.5, *Eurocode 1 : Bases de calcul et actions sur les structures - Partie 2.5 : Actions thermiques.*

ENV 1991-2.7, *Eurocode 1 : Bases de calcul et actions sur les structures - Partie 2.7 : Actions accidentelles dues aux chocs et explosions.*

ENV 1991-3, *Eurocode 1 : Bases de calcul et actions sur les structures Partie 3 : Charges sur les ponts dues au trafic.*

ENV 1991-4, *Eurocode 1 : Bases de calcul et actions sur les structures - Partie 4 : Actions dans les silos et réservoirs.*

ENV 1991-5, *Eurocode 1 : Bases de calcul et actions sur les structures - Partie 5 : Actions induites par les grues, les ponts roulants et l'outillage.*

ENV 1992, *Eurocode 2 : Calcul des structures en béton.*

ENV 1993, *Eurocode 3 : Calcul des structures en acier.*

ENV 1994, *Eurocode 4 : Conception et dimensionnement des structures mixtes acier-béton.*

ENV 1995, *Eurocode 5 : Calcul des ouvrages en bois.*

ENV 1996, *Eurocode 6 : Calcul des structures en maçonnerie.*

ENV 1997, *Eurocode 7 : Calcul géotechnique.*

ENV 1998, *Eurocode 8 : Conception et dimensionnement des structures pour leur résistance aux séismes.*

ENV 1999, *Eurocode 9 : Calcul des structures en alliages d'aluminium.*

1.3 Distinction entre les principes et les règles d'application

(1) Selon la nature des différents articles, une distinction est faite dans cette partie 2-5 de l'ENV 1991 entre les principes et les règles d'application.

(2) Les principes comprennent :

- des formulations d'ordre général et des définitions pour lesquelles il n'y a pas d'alternative ;
- des prescriptions et des modèles analytiques pour lesquelles aucune alternative n'est autorisée sauf indication contraire.

(3) Les principes sont identifiés par le numéro du paragraphe suivi de la lettre P.

(4) Les règles d'application sont des règles généralement reconnues qui font suite aux principes et sont conformes à leurs prescriptions.

(5) Il est autorisé d'utiliser des règles alternatives différentes des règles d'application données dans le présent Eurocode, à condition de prouver que les règles alternatives sont en accord avec les principes appropriés et présentent la même fiabilité.

(6) Dans la présente partie de l'ENV 1991 les règles d'application sont identifiées par un chiffre entre parenthèses comme par exemple cet alinéa.

1.4 Définitions

Pour l'utilisation de cette Prénorme, une liste de définitions de base est prévue dans l'ENV 1991-1, alors que les définitions ci-dessous sont particulières à la présente partie.

1.4.1 Actions thermiques : Les actions thermiques agissant sur une structure ou sur un élément structural sont les domaines des champs de température dans les limites d'un intervalle de temps déterminé.

1.4.2 Température de l'air sous abri : La température de l'air sous abri est la température mesurée par des thermomètres placés dans une boîte en bois, peinte en blanc, ayant des grilles de ventilation, connue sous le nom de « abri de Stevenson ». Le rôle de cet abri est de protéger les thermomètres (i) des radiations solaires, du terrain ou des objets avoisinants, le jour (ii) de la perte de chaleur par radiation la nuit (iii) et des précipitations, en permettant en même temps la circulation libre de l'air. Ceci est réalisé par l'utilisation de ventilations sur les côtés et dans la porte, d'une toiture double avec un espace d'air et d'un plancher consistant en trois plaques partiellement superposées, séparées par un espace d'air. L'abri est monté sur un support de manière à ce que les bulbes du thermomètre se situent à environ 1.20 m au-dessus du terrain qui peut être considéré comme niveau, couvert d'herbe tondue et éloigné des arbres, des bâtiments, des murs ou d'autres écrans. Le thermomètre à bulbe sec indique la température de l'air au moment de l'observation et les thermomètres de maximum et minimum sont lus une ou plusieurs fois par jour, selon le type de station, et remis au départ immédiatement après être lus.

1.4.3 Température maximale de l'air sous abri, $T_{\max}$: valeur annuelle de la température maximale de l'air sous abri, pour une période de retour de 50 ans, basée sur les valeurs horaires maximales enregistrées.

1.4.4 Température minimale de l'air sous abri $T_{\min}$: valeur annuelle de la température minimale de l'air sous abri, pour une période de retour de 50 ans, basée sur les valeurs horaires minimales enregistrées.

1.4.5 L'enveloppe du bâtiment : ensemble des parois (murs et toiture) séparant les volumes intérieurs utilisables de l'extérieur. Ce n'est pas une partie de la structure bien qu'elle ait très généralement une composante structurelle.

1.4.6 Habillage extérieur : la partie du bâtiment ne supportant d'autres charges que le poids propre ou le vent et qui constitue une membrane imperméable.

1.4.7 Structure portante : les éléments qui supportent les actions appliquées au bâtiment ; sont inclus les finissages permanents et les murs structuraux intérieurs.

1.5 Symboles

(1) Pour l'utilisation de la présente partie de l'Eurocode 1 les symboles suivants s'appliquent :

NOTE La notation utilisée est basée sur l'ISO 3898:1987.

(2) Une liste fondamentale de notations est prévue dans l'ENV 1991-1, et les notations supplémentaires ci-dessous sont particulières à la présente partie.

Majuscules latines

R	période de retour de la température maximale (minimale) de l'air sous abri [années]
$T_{\max}$	valeur annuelle de la température maximale de l'air sous abri, pour une période de retour de 50 ans, basée sur les valeurs horaires maximales enregistrées.
$T_{\min}$	valeur annuelle de la température minimale de l'air sous abri pour une période de retour de 50 ans, basée sur les valeurs horaires minimales enregistrées.
$T_{\max,R}$	valeur annuelle de la température maximale de l'air sous abri, pour une période de retour R .
$T_{\min,R}$	valeur annuelle de la température minimale de l'air sous abri pour une période de retour R
$T_{e,\max}$	température effective maximale des ponts
$T_{e,\min}$	température effective minimale des ponts
T_o	température d'origine pour une structure (à la date où sa configuration finale est réalisée (clavage, assemblage, etc.))
T_1, T_2	valeurs définissant les gradients thermiques (non linéaires) positifs et négatifs
T_3, T_4	valeurs définissant les gradients thermiques (non linéaires) positifs et négatifs
ΔT_k	valeur caractéristique de l'action thermique
$\Delta T_1'$	valeur non fréquente de l'action thermique
ΔT_1	valeur fréquente de l'action thermique
ΔT_2	valeur quasi-permanente de l'action thermique
$\Delta T_{N,\text{pos}}$	étendue des variations positives de la température effective d'un pont
$\Delta T_{N,\text{neg}}$	étendue des variations négatives de la température effective d'un pont
ΔT_N	étendue complète des variations de la température effective d'un pont
$\Delta T_{M,\text{pos}}$	gradient thermique linéaire positif

$\Delta T_{M,neg}$	gradient thermique linéaire négatif
ΔT_E	composante non linéaire de la distribution de température
A	aire de la section transversale
D	gradient linéaire de température
E	module d'élasticité de Young
J	moment d'inertie

Minuscules latines

b	largeur de la section transversale
d	épaisseur de la paroi des cheminées ou des conduites
h	hauteur de la section transversale
u,c	paramètres d'emplacement et d'échelle de la distribution annuelle maximale (minimale) de la température de l'air sous abri
k_1, k_2, k_3, k_4	coefficients pour le calcul de la température maximale (minimale) de l'air sous abri pour une période de retour autre que 50 ans
k_{sur}	coefficient pour les écarts de température linéaire selon des revêtements des ponts

Minuscules grecques

α_T	coefficient de dilatation linéaire (1/°C)
ψ_0	coefficient pour valeur de combinaison de l'action thermique
ψ_1'	coefficient pour valeur rare de l'action thermique
ψ_1	coefficient pour valeur non fréquente de l'action thermique
ψ_2	coefficient pour valeur quasi-permanente de l'action thermique
ω_N	coefficient réducteur des composantes uniformes de température pour les combinaisons avec des gradients de température linéaires
ω_M	coefficient réducteur des gradients de température linéaires pour les combinaisons avec des composantes de température uniformes

Section 2 Classification des actions

- (1)P Les actions thermiques sont classifiées comme actions variables libres, voir l'ENV 1991-1.
- (2)P Les actions thermiques sont des actions indirectes, voir l'ENV 1991-1.
- (3) Sauf précision différente, les valeurs caractéristiques des actions thermiques données dans la présente partie, sont des valeurs pour une période de retour de 50 ans.

Section 3 Situations de projet

(1)P Les actions thermiques appropriées doivent être déterminées pour chaque situation de projet identifiée conformément à l'ENV 1991-1 et l'ENV 1991-3.

(2)P La distribution de la température dans la section transversale d'un élément conduit à des déformations de l'élément. Lorsque la déformation est empêchée, des contraintes se produisent dans l'élément. Ces contraintes doivent être considérées dans les situations de projet durables et transitoires (par exemple durant l'exécution ou la réparation) conformément à l'ENV 1991-1.

(3)P Les éléments de la structure portante doivent être vérifiés afin de s'assurer que le mouvement thermique ne produira pas des sollicitations excessives dans la structure, soit en prévoyant des joints de dilatation, soit en tenant compte des effets dans le calcul.

(4) Dans des cas particuliers, il convient de tenir compte des situations de projet accidentelles, voir 7.1.

Section 4 Représentation des actions

(1)P Les variations journalières et saisonnières de la température de l'air sous abri, les rayonnements solaires, les rayonnements réémis etc. entraîneront des variations de la distribution de température à l'intérieur des différents éléments particuliers d'une structure.

(2)P La magnitude des effets thermiques, dépend des conditions climatiques locales, ainsi que de l'orientation de la structure, de sa masse totale, des finitions (par exemple les revêtements dans les bâtiments), et dans le cas de structures de bâtiments, des conditions de chauffage et ventilation, ainsi que de l'isolation thermique.

(3) La distribution de la température à l'intérieur d'un élément de structure particulier peut être divisée dans les quatre composantes constitutives essentielles suivantes, telles qu'illustrées dans la figure 4.1 :

- a) une composante de température uniforme, ΔT_N ;
- b) une composante de température variant linéairement suivant l'axe z-z, ΔT_{Mz} ;
- c) une composante de température variant linéairement suivant l'axe y-y, ΔT_{My} ;
- d) une distribution de température non linéaire, ΔT_E . Celle-ci conduit à un système de contraintes autoéquilibrées qui ne produit pas de sollicitations sur l'élément.

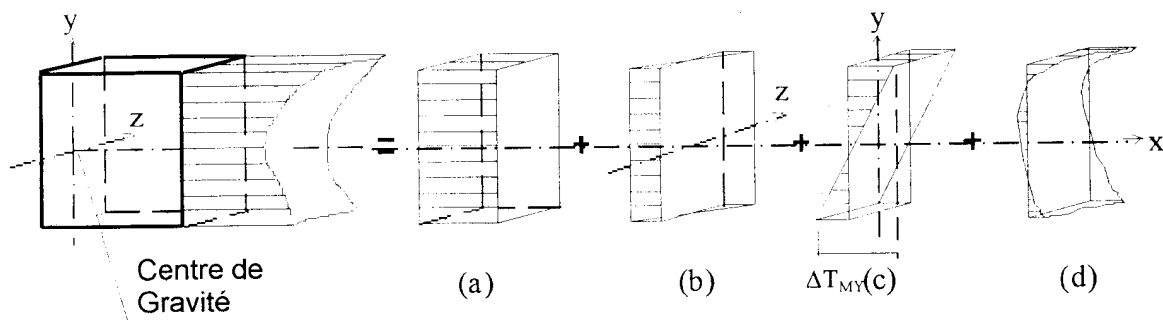


Figure 4.1 – Composantes constitutives d'un profil de température

(4)P Les déformations et, par conséquent, les contraintes qui en résultent, dépendent de la géométrie et des conditions aux limites de l'élément considéré ainsi que des propriétés physiques du matériau utilisé. Pour le cas d'utilisation dans un élément composite constitué de matériaux ayant des coefficients de dilatation différents voir l'annexe C5.

Section 5 Variations de température dans les bâtiments

5.1 Généralités

(1)P La présente partie traite des effets sur les structures de bâtiment et sur les revêtements, lorsque la température à l'intérieur de l'enveloppe varie normalement de moins de 20 °C en cas d'utilisation normale.

(2)P La présente partie traite seulement des actions thermiques résultant d'effets climatiques dus aux variations de température de l'air sous abri et aux radiations solaires. Les effets possibles de protection par des bâtiments adjacents doivent être pris en compte dans le calcul. Les actions thermiques résultant d'un chauffage intérieur inadéquat, les effets de l'équipement ou ceux dus au processus industriel doivent être couverts par les spécifications du projet.

(3) Les tolérances requises par l'évaluation du comportement de la structure et de ses revêtements dépendent du type de structure, des revêtements utilisés et de l'histoire de la température intérieure et extérieure estimée. En conséquence on ne peut prévoir des règles spécifiques.

(4) Les règles données dans cette section sont censées constituer un guide des aspects qu'il convient de prendre en compte lors du dimensionnement ; il convient que des estimations appropriées détaillées soient considérées pour le calcul de chaque structure.

(5) Afin de définir les effets des actions thermiques sur les bâtiments, les notions de « enveloppe du bâtiment », « revêtement » et « structure portante » sont définies au paragraphe 1.4.

(6)P Les effets des actions thermiques doivent être pris en compte là où il est possible que les états limites ultimes et de service soient dépassés suite à un mouvement thermique. En particulier le mouvement différentiel entre les composantes correspondant aux différents matériaux doit être pris en compte dans le calcul.

NOTE La disposition des joints de dilatation peut être influencée également par l'humidité et par d'autres conditions ayant rapport à l'environnement.

5.1.1 Structure des bâtiments

(1)P Les éléments de la structure portante doivent être vérifiés afin de s'assurer que le mouvement thermique ne produira pas des dépassements des états limites de la structure, soit en prévoyant des joints de dilatation, soit en tenant compte des effets thermiques dans le calcul. La possibilité de tenir compte de tout mouvement différentiel entre la structure et les revêtements doit être prévue.

(2)P Les éléments de structure qui ne sont pas protégés de l'environnement extérieur par des revêtements, doivent être vérifiés pour s'assurer qu'il n'y a pas accroissement du risque dû aux variations thermiques importantes. Dans les cas critiques (par exemple : dalles des structures de protection contre l'environnement) les effets des rayonnements solaires et des champs de température non uniformes doivent être pris en compte.

5.1.2 Habillages extérieurs

(1)P Les effets des variations de température sur les éléments des habillages extérieurs doivent être considérés et la distance effective entre les joints de dilatation doit être déterminée en fonction des performances des matériaux utilisés dans la construction. Là où des habillages extérieurs de différentes formes sont utilisés pour une structure, il faut tenir compte des variations, telles que la dilatation et le coefficient de transmission entre les matériaux.

(2)P Les matériaux de revêtement doivent être fixés sur la structure de manière à permettre tout mouvement différentiel entre les différents composants.

(3)P Le mouvement différentiel dû à la variation de température de l'air sous abri et au rayonnement solaire doit être pris en compte dans le dimensionnement des revêtements et de leurs fixations.

5.1.3 Détermination des profils des températures

(1)P Les profils de température doivent être déterminés sur une base nationale tenant compte de l'exposition aux variations journalières au rayonnement solaire et de la variation journalière de la température de l'air sous abri.

(2) Si on dispose d'une information spécifique, sur la corrélation des températures effectives du bâtiment avec la température de l'air sous abri et avec les rayonnements solaires, afin de prévoir des températures effectives du bâtiments fiables pour le dimensionnement, il convient que ces informations soient utilisées pour fournir des valeurs caractéristiques.

(3) Dans le cas des bâtiments pour lesquels le calcul est nécessaire, une température uniforme dans les éléments de structure peut être supposée dans la majorité des cas.

NOTE Des informations sur la température de l'air sous abri sont données dans l'annexe A3. Les températures sont applicables autant pour les ponts que pour les bâtiments.

Section 6 Variation de température dans les ponts

6.1 Tabliers des ponts

6.1.1 Groupe de tabliers de ponts

(1)P Un tablier de pont doit être considéré comme appartenant à l'un des trois groupes de tabliers suivants :

Groupe 1 tablier métallique sur poutres caisson métalliques, poutres en treillis ou en profilés métalliques ;

Groupe 2 tablier en béton sur poutres caisson métalliques, poutres en treillis ou en profilés métalliques ;

Groupe 3 dalle en béton ou tablier en béton sur poutres en béton ou poutres caissons.

NOTE Voir également l'annexe B.

(2) Faute de valeurs codifiées pour les températures effectives et les variations de température pour d'autres types de ponts, il convient de déduire des valeurs appropriées à partir des principes ci-dessus, des données fournies par des spécialistes, ou des résultats d'essais.

6.1.2 Considération des actions thermiques

(1) Les règles données dans cette partie s'appliquent à des tabliers de ponts qui sont exposés à des effets climatiques journaliers et saisonniers. Les ponts qui ne sont pas ainsi exposés peuvent ne pas nécessiter la prise en compte des actions thermiques.

(2) Pour les ponts il convient que toutes les valeurs représentatives des actions thermiques soient définies par la composante de température uniforme (voir 6.1.3) et par la composante de température linéaire (voir 6.1.4).

(3) Dans les cas où la distribution de température non linéaire nécessite d'être considérée en détail - ceci a lieu lorsqu'on ne peut prévoir des dispositions constructives suffisantes (par exemple pour les structures composites) - il convient d'appliquer des différences de température appropriées. Des valeurs sont données dans l'annexe B.

6.1.3 Composante de température uniforme - valeurs caractéristiques

6.1.3.1 Généralités

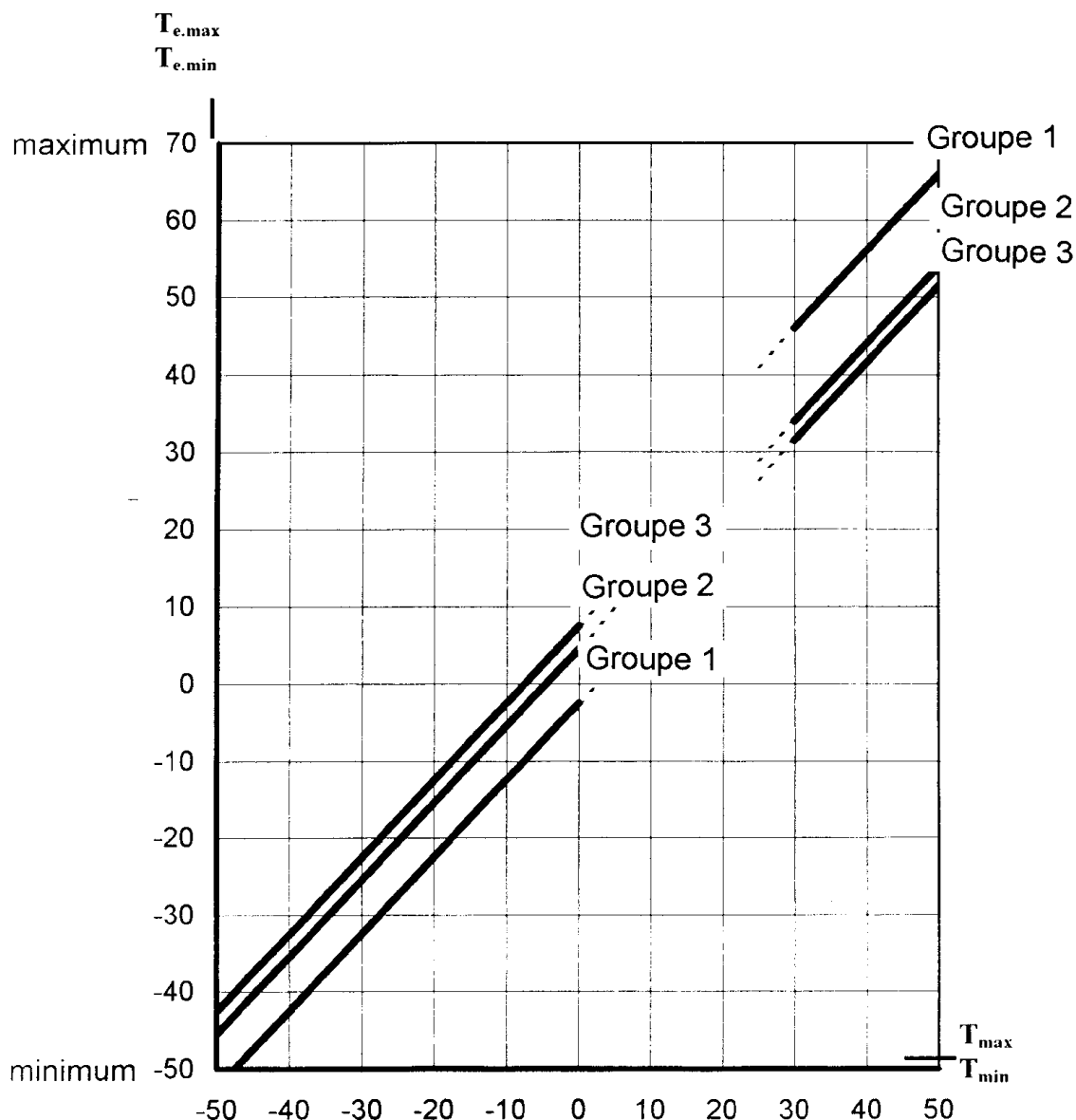
(1) La composante de température uniforme dépend de la température effective maximale et minimale du pont, qui peut être atteinte dans un intervalle de temps prescrit. Cela conduit à une étendue de variables uniforme de température qui dans une structure libre se manifesterait par la variation de la longueur de l'élément.

(2) Il convient que les effets suivants soient pris en compte s'ils sont importants :

- empêchement de la dilatation ou de la contraction, dues au type de construction (par exemple ossatures en portique, arc, appuis en élastomères) ;
- frottement sur les rouleaux ou glissement des appuis ;
- effets géométriques non linéaires (effets du second ordre) ;

- pour les ponts de chemin de fer les effets d'interaction entre les rails et le pont, dus à la variation de température du tablier et des rails, peuvent induire des forces horizontales supplémentaires dans les appuis (et des forces supplémentaires dans les rails). Pour plus d'information voir l'ENV 1991-3.

(3)P Les températures effectives maximales et minimales des ponts doivent être déduites à partir d'isothermes de la température maximale et minimale de l'air sous abri (voir 6.1.3.2 et 6.1.3.3).



NOTE Pour des poutres métalliques en treillis ou en profilés les valeurs maximales données pour le groupe 1, peuvent être réduites de 3 °C.

Figure 6.1 - Corrélation entre les températures minimales et maximales de l'air sous abri ($T_{\min}/T_{\max}$) et la température effective minimale et maximale d'un pont ($T_{e.\min}/T_{e.\max}$)

(4) La température effective du pont peut être calculée à partir de la température de l'air sous abri en utilisant la figure 6.1. Les valeurs de la figure 6.1 sont basées sur des variations journalières de température de 10 °C. Cette variation peut être considéré comme étant appropriée pour la majorité des pays membres. Au cas où des données particulières sont disponibles pour justifier une variation de température différente, il convient que les valeurs résultant de la figure 6.1 soient ajustées en conséquence.

6.1.3.2 Température de l'air sous abri

(1)P Les valeurs caractéristiques minimale et maximale de la température de l'air sous abri doivent correspondre à l'emplacement du chantier en se référant aux cartes nationales d'isothermes.

(2) Les cartes nationales d'isothermes des températures minimale et maximale de l'air sous abri sont indiquées pour chaque État membre dans l'annexe A. Ces températures de l'air sous abri sont appropriées pour le niveau moyen de la mer, en rase campagne et pour une période de retour de 50 ans. Des rectifications pour d'autres périodes de retour, ou en altitude et pour des conditions locales particulières, par exemple des poches de gelée, sont incluses dans l'annexe A.

(3) Dans les circonstances où une période de retour de 50 ans est considérée peu appropriée, il convient que les températures minimales de l'air sous abri et les températures maximales de l'air sous abri soient modifiées conformément à l'annexe A.

6.1.3.3 Domaine des températures effectives des ponts

(1)P Les valeurs caractéristiques des températures effectives minimales et maximales des ponts, pour le calcul des forces résultant d'une déformation empêchée, doivent être déduites des valeurs minimales ($T_{\min}$) et maximales ($T_{\max}$) des températures de l'air sous abri en consultant la figure 6.1. La température effective probable du pont T_o à la date où la configuration définitive de la structure est réalisée, peut être prise dans l'annexe A, comme donnée pour le calcul de la contraction jusqu'à la température effective minimale du pont, et pour le calcul de la dilatation jusqu'à la température effective maximale du pont.

(2) Ainsi il convient de prendre pour la valeur caractéristique de l'étendue des variations négatives de la température effective d'un pont, $\Delta T_{N,\text{neg}}$:

$$\Delta T_{N,\text{neg}} = T_{e,\text{min}} - T_o \quad (6.1)$$

et pour la valeur caractéristique de l'étendue des variations positives de la température effective d'un pont, $\Delta T_{N,\text{pos}}$:

$$\Delta T_{N,\text{pos}} = T_{e,\text{max}} - T_o \quad (6.2)$$

NOTE L'étendue totale des variations de la température effective d'un pont est $\Delta T_N = T_{e,\text{max}} - T_{e,\text{min}}$.

(3)P Pour l'évaluation de l'étendue des déplacements (par exemple pour le dimensionnement des appuis et des joints de dilatation) l'étendue des variations positives de la température effective d'un pont, doit être pris égal à $(\Delta T_{N,\text{pos}} + [20])$ °C et l'étendue des variations négatives de la température effective d'un pont égal à $(\Delta T_{N,\text{neg}} - [20])$ °C, si aucune autre disposition n'est exigée. Lorsque l'on connaît la température à laquelle les appuis et les joints de dilatation sont réalisés, le chiffre de [20] °C ci-dessus peut être réduit à [10] °C.

6.1.4 Composante linéaire de température - valeurs caractéristiques

6.1.4.1 Composante verticale

(1) Au cours d'un intervalle de temps prescrit, l'échauffement et le refroidissement de la surface supérieure d'un tablier de pont entraîneront un gradient thermique maximal positif (surface supérieure plus chaude), et maximal négatif (surface inférieure plus chaude) voir annexe C. Lorsque des matériaux ayant des coefficients de dilatation linéaire différents sont utilisés, dans des éléments composites.

(2) Ceci produira à l'intérieur d'une structure des effets dus à :

- l'empêchement de courbure libre due au type de structure (par exemple ossature en portiques, poutres continues etc.) ;
- le frottement aux appareils d'appui rotatifs ;

- les effets géométriques non-linéaires (effets du second ordre).

(3) Il convient que ces effets soient représentés par des gradients de température linéaire équivalents, positifs et négatifs, tels que données dans le tableau 6.1

Tableau 6.1 - Valeurs caractéristiques des gradients linéaires de température pour différents groupes de tabliers de ponts

Groupes de tabliers (voir Annexe B)	Ponts routiers		Ponts de chemin de fer	
	Gradient de température positif	Gradient de température négatif	Gradient de température positif	Gradient de température négatif
	$\Delta T_{M,pos}$ (°C)	$\Delta T_{M,neg}$ (°C)	$\Delta T_{M,pos}$ (°C)	$\Delta T_{M,neg}$ (°C)
Groupe 1 : Platelage en acier sur poutres métalliques de type caisson, en treillis ou en I.	[18]	[-13]	[18]	[-13]
Groupe 2 : Dalle en béton sur poutres métalliques de type caisson, en treillis ou en I.	[15]	[-18]	[15]	[-18]
Groupe 3 : Tablier en béton : - poutre caisson - poutre en T - dalle	[10] [15] [15]	[-5] [-8] [-8]	[10] [15] [15]	[-5] [-8] [-8]
NOTE Les valeurs contenues dans le tableau, représentent les valeurs limites supérieures des composantes de température variant linéairement, pour les types représentatifs de géométrie des ponts.				

(4) Pour les ponts importants (par exemple ceux de portée supérieure à [100] m ou ceux pour lesquels elle est considérée appropriée), une simulation numérique des variations de température, peut être effectuée selon la méthode décrite dans l'annexe C.

(5) Il convient que les gradients de température donnés dans le tableau 6.1 soient appliqués entre la fibre supérieure et la fibre inférieure du tablier.

(6) Les valeurs des gradients de température données dans le tableau 6.1 sont basées sur une épaisseur de revêtement de 50 mm pour les ponts routiers et de chemin de fer. Pour d'autres épaisseurs du revêtement il convient que ces valeurs soient multipliées par un coefficient k_{sur} , tel que donné dans le tableau 6.2.

Tableau 6.2 - Coefficients k_{sur} à prendre en compte pour différentes épaisseurs de revêtement

Ponts routiers et de chemin de fer						
Epaisseur de revêtement	béton		acier		composites	
	surface supérieure plus chaude que la partie inférieure	partie inférieure plus chaude que la surface supérieure	surface supérieure plus chaude que la partie inférieure	partie inférieure plus chaude que la surface supérieure	surface supérieure plus chaude que la partie inférieure	partie inférieure plus chaude que la surface supérieure
(mm)	k_{sur}	k_{sur}	k_{sur}	k_{sur}	k_{sur}	k_{sur}
0	1,5 ¹⁾	1,0	1,6 ¹⁾	0,6	1,1	0,9
50	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
100	0,7	1,0	0,7	1,2	1,0	1,0
150	0,5	1,0	0,7	1,2	1,0	1,0
(60 cm)	0,6	1,0	0,6	1,4	0,8	1,2
1) Ces valeurs représentent des valeurs limites supérieures.						

6.1.4.2 Composante horizontale

(1) En général, le gradient de température linéaire doit être considérée en direction verticale. Toutefois, dans des cas particuliers il peut être nécessaire de prendre en compte un gradient de température horizontal. Si dans ces cas on ne dispose pas d'autres informations et s'il n'existe pas d'indications pour des valeurs supérieures, [5] °C peut être considéré comme gradient de température à utiliser.

6.1.5 Simultanéité des composantes de température uniformes et linéaires

(1) S'il est nécessaire de prendre en compte le gradient de température ΔT_M et la composante ΔT_N supposant qu'il y ait simultanéité (par exemple dans le cas des structures en portiques) on peut utiliser l'expression suivante :

$$\Delta T_M + \omega_N \Delta T_N \quad (6.3)$$

ou

$$\omega_M \Delta T_M + \Delta T_N \quad (6.4)$$

où il convient de choisir l'effet le plus défavorable et où :

$$\omega_N = [0,35]$$

$$\omega_M = [0,75]$$

6.1.6 Écarts de la température effective entre différents éléments de structure

(1) Dans les structures où les différences de température effective entre différents types d'éléments peuvent causer des sollicitations défavorables, il convient que ces effets soient pris en compte. En complément des effets résultant d'une température effective uniforme dans tous les éléments, il y a lieu de considérer les effets résultant d'un écart de température effective de [15] °C entre les éléments principaux de la structure (par exemple : arc et tirant, câbles de suspension ou haubans et poutres du tablier).

6.2 Piles de ponts

6.2.1 Prise en compte des actions thermiques

(1)P Les gradients de température linéaires entre les faces extérieures des piles de pont, creuses ou pleines, doivent être pris en compte dans les calculs.

(2) Il convient de considérer les effets totaux de la température, lorsque ceux-ci peuvent conduire à des forces dues à des déformations empêchées ou à des mouvements dans les structures environnantes.

6.2.2 Écarts de température - valeurs caractéristiques

(1) Faute d'informations détaillées et de l'indication de valeurs plus importantes, il y a lieu de prendre pour l'écart de température entre les faces opposées des piles en béton, creuses ou pleines, la valeur de [5] °C.

(2) Pour les valeurs caractéristiques des gradients de température linéaires entre les faces intérieure et extérieure du mur, il convient de prendre [15] °C.

(3) Lorsqu'on considère les écarts de température linéaires dans le cas des poteaux métalliques, il convient de prendre conseil auprès d'un spécialiste.

Section 7 Variations de température dans les cheminées industrielles et les conduites

7.1 Généralités

(1)P La présente partie se limite à fournir des valeurs quantifiables pour les actions thermiques d'origine climatique, dues aux variations de température de l'air sous abri et au rayonnement solaire.

(2)P Les valeurs de la température de fonctionnement doivent être obtenues à partir des spécifications du projet.

(3)P Les structures qui viennent en contact avec des flux de gaz échauffé ou des matériaux échauffés (par exemple des cheminées, conduites ou silos), doivent être dimensionnées le cas échéant, pour les actions thermiques suivantes :

- distribution de température pour des conditions de fonctionnement normales ;
- champ de température accidentel provenant de défaillances lors de l'exploitation.

7.2 Composantes de température - valeurs caractéristiques

7.2.1 Température de l'air sous abri

(1)P Les valeurs caractéristiques de la température minimale et maximale de l'air sous abri doivent être obtenues à l'emplacement de l'ouvrage en se référant aux cartes nationales d'isothermes.

(2) Les cartes nationales d'isothermes des températures minimales et maximales de l'air sous abri sont indiquées pour chaque Etat membre dans l'annexe A. Ces températures de l'air sous abri sont appropriées pour le niveau moyen de la mer, en rase campagne et pour une période de retour de 50 ans.

(3) Dans les circonstances où une période de retour de 50 ans est considérée peu appropriée, comme pour les situations transitoires, il convient que les températures minimales (maximales) de l'air sous abri soient modifiées conformément à l'annexe A.

7.2.2 Rayonnement solaire

(1)P Les cheminées et les conduites qui sont exposées à des effets climatiques journaliers et saisonniers, seront soumises à des rayonnements solaires, qui affecteront la température appropriée à utiliser dans le dimensionnement. Des valeurs caractéristiques pour le rayonnement solaire doivent être fournies soit par les stations météorologiques nationales, soit par les spécifications du projet.

7.2.3 Température des gaz de combustion

(1)P Les valeurs caractéristiques (période de retour de 50 ans) de la température maximale et minimale des gaz de combustion doivent être obtenues par les spécifications du projet.

7.2.4 Température effective des éléments

(1) La déduction des valeurs caractéristiques de la température effective d'un élément dépendra de la configuration du matériau, de l'orientation et de l'emplacement de l'élément et sera fonction de la température maximale et minimale de l'air sous abri et du rayonnement solaire. On ne peut prévoir des règles dans le présent code et on est obligé d'avoir recours soit aux conseils d'un spécialiste, soit à l'utilisation des valeurs indicatives données au paragraphe 7.5.

7.3 Actions thermiques à considérer

(1)P La composante de température uniforme de la distribution de température (voir figure 4.1.a) ainsi que la composante de température variant linéairement (voir figure 4.1 b) doivent être, toutes deux prises en compte.

(2)P Il y a lieu de prendre en compte le rayonnement solaire qui produit une distribution de température variable autour de la circonférence de la structure.

(3)P Les composantes de température uniformes et variant linéairement, dues à la température du procédé industriel, doivent être considérées également.

7.4 Détermination des composantes de la température

(1)P Les profils de température uniformes et variant linéairement dus aux effets climatiques doivent être déterminés sur une base nationale, tenant compte de l'exposition à la variation journalière du rayonnement solaire et de la variation journalière de la température de l'air sous abri.

(2) Lorsqu'on dispose d'informations spécifiques sur la corrélation de la température effective de l'élément avec le rayonnement solaire et avec la température de l'air sous abri, afin de fournir des valeurs caractéristiques de la température effective de l'élément pour le dimensionnement, il convient que ces informations soient utilisées pour fournir des valeurs de calcul.

(3)P Les valeurs caractéristiques de la composante uniforme de température due aux liquides ou aux gaz de combustion doivent être prises dans la spécification du projet.

(4)P La composante de température variant linéairement due aux liquides ou aux gaz doit être prise telle qu'elle résulte de la différence entre la température minimale (ou maximale) de l'air sous abri et la valeur caractéristique de la température du liquide ou du gaz de combustion, tenant compte des effets d'isolation.

7.5 Valeurs caractéristiques des composantes de la température (valeurs indicatives)

(1) À défaut de toute information spécifique concernant les valeurs caractéristiques de température de l'élément, on peut utiliser les valeurs indicatives contenues dans le présent article.

NOTE Ces valeurs sont basées sur l'expérience courante et il convient qu'elles soient vérifiées en les comparant avec toute donnée disponible pour s'assurer qu'il est probable qu'elles soient des valeurs limites supérieures, pour l'emplacement et le type de l'élément considéré.

(2) Il convient que les valeurs caractéristiques de la composante de température uniforme maximale et minimale soient celles de la température maximale et minimale de l'air sous abri (voir 7.2.1).

(3) Pour les cheminées et les conduites en béton il convient que les valeurs caractéristiques des écarts de température linéaires entre les faces intérieure et extérieure de la paroi soient prises égales à [15] °C.

(4) Dans le cas des cheminées et des conduites en béton, une distribution de température variable autour de la circonférence de la structure (produisant des effets thermiques locaux et globaux) convient d'être considérée sur la base qu'un quadrant de 90° de la circonférence a une température moyenne supérieure de [15] °C à celle du reste de la circonférence.

(5) Lorsqu'on considère des cheminées et des conduites métalliques, il y a lieu que l'écart de température linéaire et la distribution de température échelonnée autour de la circonférence de la structure, soient précisés dans la spécification du projet ou bien qu'ils fassent l'objet du conseil d'un spécialiste.

7.6 Simultanéité des actions

(1) Lorsqu'on considère les actions thermiques dues uniquement aux effets climatiques il convient de tenir compte de la simultanéité des composantes suivantes :

- a) composante de température uniforme (voir 7.5 (2) et figure 7.1 (a)) ;
- b) la distribution échelonnée (voir 7.5 (4) et figure 7.1 (b)) ;
- c) écarts de température linéaires entre la face intérieure et extérieure du mur (voir 7.5 (3) et figure 7.1 (c)).

(2) Lorsqu'on considère une combinaison des actions thermiques dues aux effets climatiques et aux effets du processus industriel (liquides ou gaz de combustion) il y a lieu de prendre en compte la simultanéité des composantes suivantes :

- composante uniforme de température due à la température des gaz de combustion (voir 7.4 (3)) ;
- écarts de température linéaires (voir 7.4 (4)) ;
- la distribution variable (voir 7.5 (4)).

(3) Là où la distribution échelonnée de température est considérée, il convient de la combiner avec les effets du vent (incluant les détachements tourbillonnaires et les ovalisations), à la vitesse du vent appropriée pour causer la réponse maximale de ces effets.

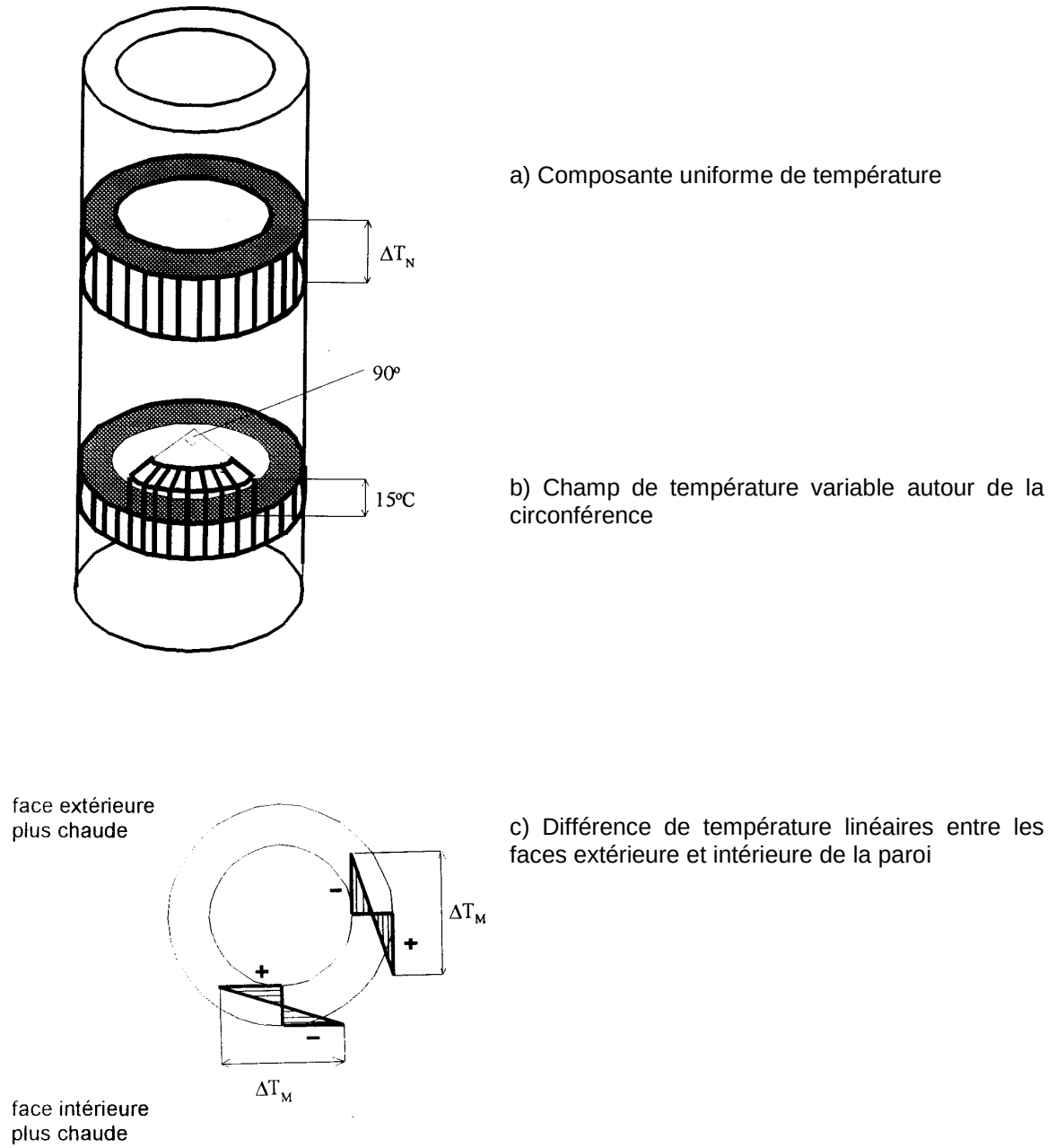


Figure 7.1 – Composantes de la température appropriées pour les cheminées industrielles et les conduites

Annexe A (informative)

Isothermes des températures nationales maximale et minimale de l'air sous abri

A.1 Généralités

(1) La présente annexe contient des cartes d'isothermes annuelles minimales et annuelles maximales de la température de l'air sous abri pour les États membres.

(2) Les cartes représentent des valeurs de période de retour de 50 ans. Ces valeurs peuvent nécessiter d'être ajustées en ce qui concerne la hauteur au-dessus du niveau de la mer conformément à A.3. Il convient toutefois que, à défaut de cette information, les valeurs de la température de l'air sous abri soient ajustées pour l'altitude au-dessus du niveau de la mer, en retranchant $[0,5]^\circ\text{C}$ par 100 m d'altitude pour la température minimale de l'air sous abri, et $[1,0]^\circ\text{C}$ par 100 m d'altitude pour la température maximale de l'air sous abri.

(3) Dans les emplacements où les valeurs minimales divergent des valeurs indiquées, tels que poches de gelé et régions abritées situées plus bas, pour lesquels le minimum peut être sensiblement inférieur, ou bien des conurbations importantes et des sites côtiers, pour lesquels le minimum peut être supérieur à celui indiqué dans les figures respectives, il convient de tenir compte de ces divergences en utilisant des données météorologiques locales.

(4) Il y a lieu de prendre la température d'origine à partir de l'information prévue dans la présente annexe par chaque État membre. À défaut de valeurs spécifiques, il convient de prendre T_o égal à $[10]^\circ\text{C}$.

A.2 Valeurs maximale et minimale de la température de l'air sous abri pour des périodes de retour différentes de 50 ans.

(1) Si la valeur maximale (minimale) de la température de l'air sous abri $T_{\max,R}$ ($T_{\min,R}$) est basée sur une période de retour R autre que 50 ans, le rapport $T_{\max,R} / T_{\max}$ ($T_{\min,R} / T_{\min}$) peut être déterminé à partir de la figure A1, basée sur des données du Royaume Uni.

(2) En général $T_{\max,R}$ ($T_{\min,R}$) peut être déduite utilisant les expressions suivantes basées sur une distribution extrême de valeurs du type I :

- pour maximum :
$$T_{\max,R} = T_{\max} \{k_1 - k_2 \ln[-\ln(1-1/R)]\} \quad (\text{A.1})$$

- pour minimum :
$$T_{\min,R} = T_{\min} \{k_3 - k_4 \ln[-\ln(1-1/R)]\} \quad (\text{A.2})$$

avec :

$T_{\max}$ ($T_{\min}$) est la valeur maximale (minimale) de la température de l'air sous abri avec période de retour de 50 ans ;

R est la période de retour de la température maximale (minimale) de l'air sous abri en années ;

$$k_1 = (uc) / \{ (uc) + 3,902 \} \quad (A.3)$$

$$k_2 = 1 / \{ (uc) + 3,902 \} \quad (A.4)$$

où

u, c paramètres d'emplacement et d'échelle de la distribution maximale annuelle de température de l'air sous abri.

$$k_3 = (uc) / \{ (uc) - 3,902 \} \quad (A.5)$$

$$k_4 = 1 / \{ (uc) - 3,902 \} \quad (A.6)$$

avec

u, c paramètres d'emplacement et d'échelle de la distribution minimale annuelle de température de l'air sous abri .

Il convient que les coefficients k_1 , k_2 , k_3 et k_4 soient basées sur les valeurs de u et c fournies par les autorités nationales responsables. A défaut de données spécifiques les valeurs suivantes basées sur les données du Royaume Uni peuvent être utilisées :

$$k_1 = 0,781 ;$$

$$k_2 = 0,056 ;$$

$$k_3 = 0,393 ;$$

$$k_4 = - 0,156$$

Les rapports $T_{\max,R} / T_{\max}$ et $T_{\min,R} / T_{\min}$ respectivement, peuvent alors être déduits de la figure A.1.

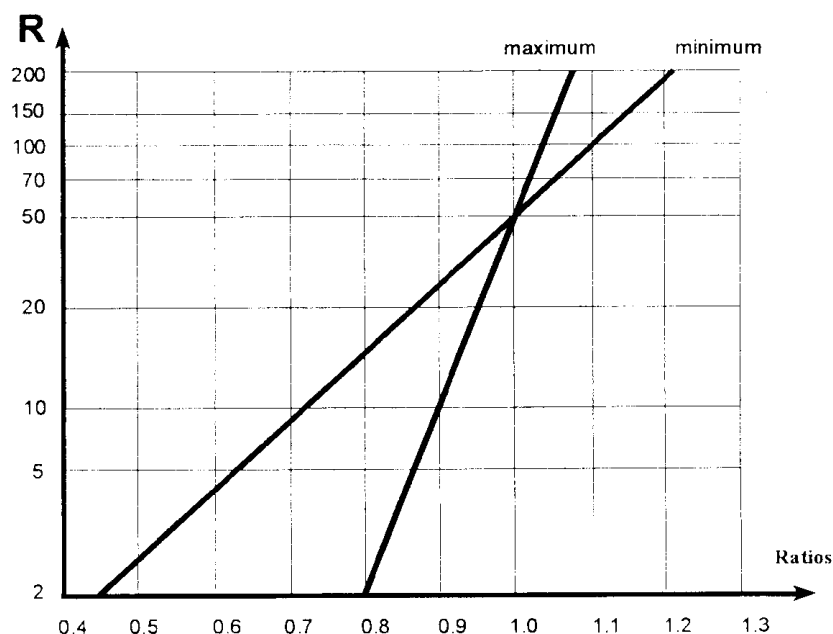


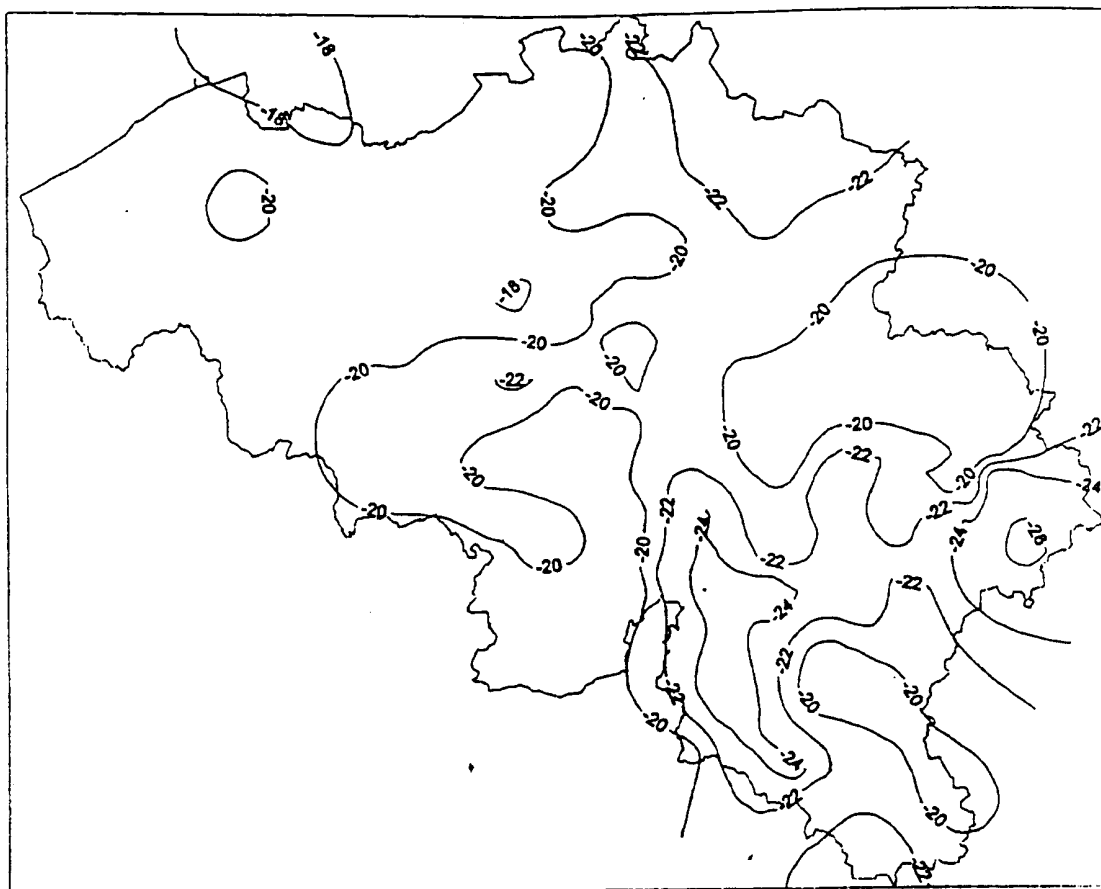
Figure A.1 : Rapports $T_{\max,R} / T_{\max}$ / et $T_{\min,R} / T_{\min}$

A.3 Liste des cartes nationales d'isothermes de la température maximale et minimale sous abri

A.3.1	Carte d'Autriche	(pas d'information disponible)
A.3.2	Carte de Belgique	
A.3.3	Carte de Bulgarie	
A.3.4	Carte de la République Tchèque	
A.3.5	Carte du Danemark	
A.3.6	Carte de Finlande	
A.3.7	Carte de France	(pas d'information disponible)
A.3.8	Carte de l'Allemagne	
A.3.9	Carte de Grèce	(pas d'information disponible)
A.3.10	Carte d'Islande	(pas d'information disponible)
A.3.11	Carte d'Irlande	
A.3.12	Carte d'Italie	
A.3.13	Carte du Luxembourg	
A.3.14	Carte des Pays-Bas	
A.3.15	Carte de Norvège	(pas d'information disponible)
A.3.15	Carte du Portugal	
A.3.16	Carte de la Slovaquie	
A.3.17	Carte de l'Espagne	
A.3.18	Carte de Suède	
A.3.19	Carte de Suisse	
A.3.20	Carte du Royaume Uni	

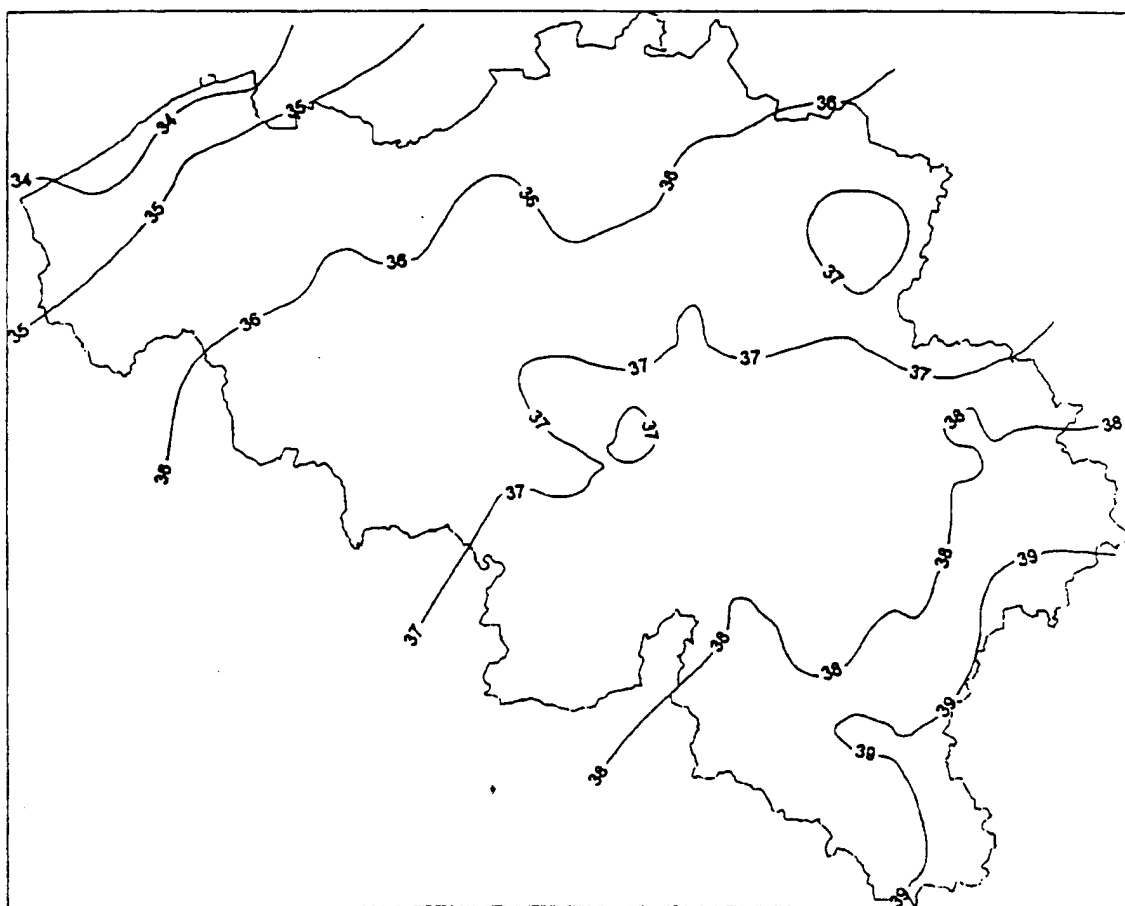
A.3.2 Belgique

- (1) Isothermes de la température minimale sous abri en °C.



A.3.2 Belgique

(2) Isothermes de la température maximale sous abri en °C.



A.3.3 Bulgarie

(1) Isothermes de la température minimale sous abri.

En général, on peut considérer que la température minimale de l'air sous abri est - 39 °C. Pour la zone côtière de la Mer Noire on peut considérer que la température minimale de l'air sous abri est 25 °C.

Des écarts locaux significatifs sont à attendre en fonction de l'emplacement, de la topographie et du développement urbain.

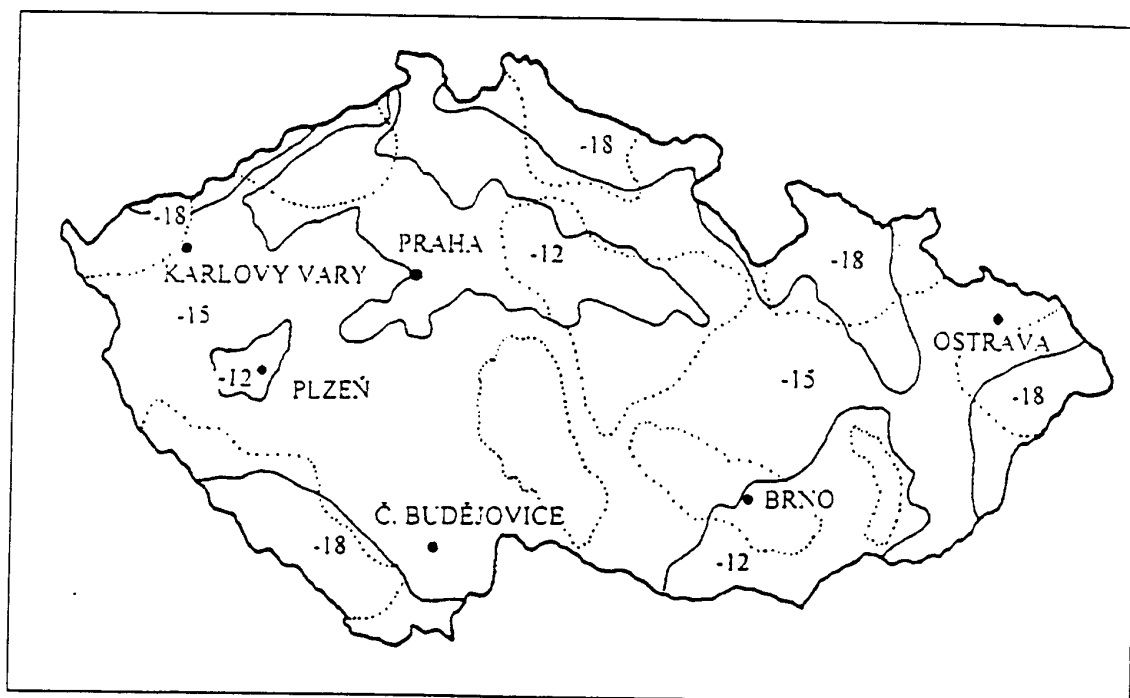
(2) Isothermes de la température maximale de l'air sous abri.

En général, on peut considérer que la température maximale de l'air sous abri est + 44 °C. Pour la zone côtière de la Mer Noire on peut considérer que la température maximale sous abri est + 41 °C.

Des écarts locaux significatifs sont à attendre, dépendant de l'emplacement du site, de la topographie et du développement urbain.

A.3.4 République Tchèque

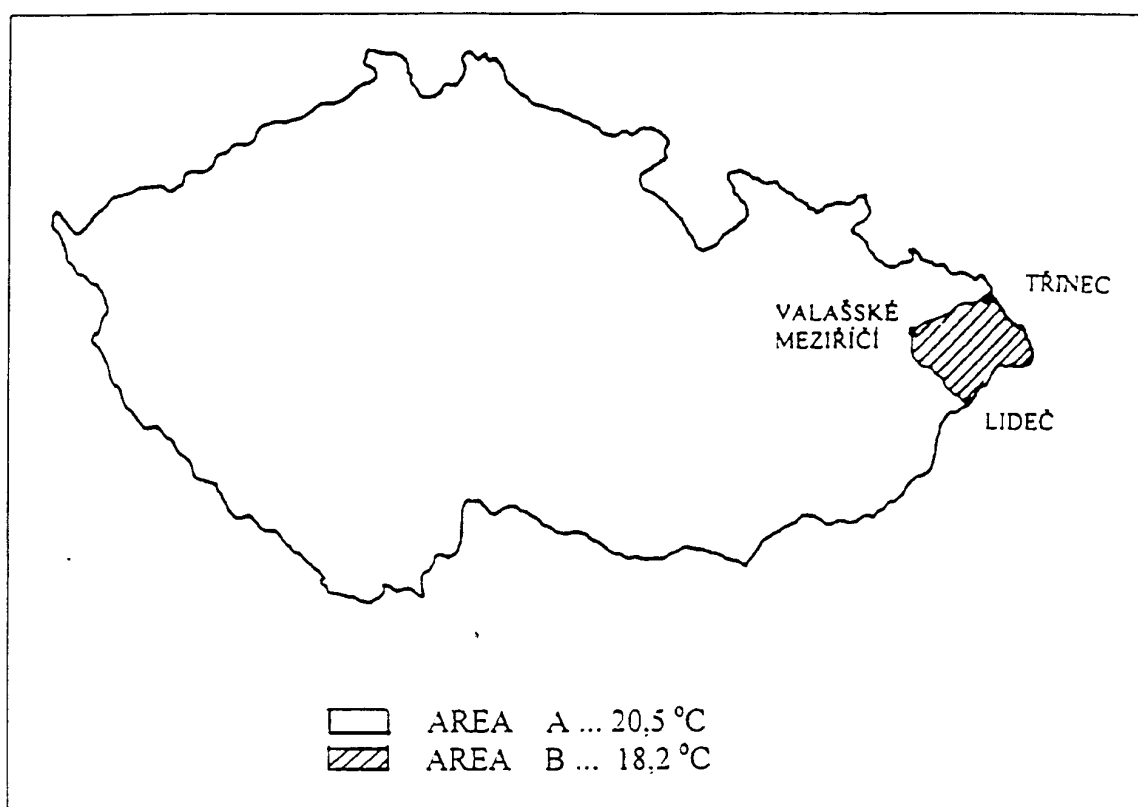
- (1) Isothermes de la température minimale de l'air sous abri en °C.



.....limites des zones à vent intensif.

A.3.4 République Tchèque

(2) Isothermes de la température maximale de l'air sous abri.



A.3.5 Danemark

(1) Isotherme de la température minimale de l'air sous abri.

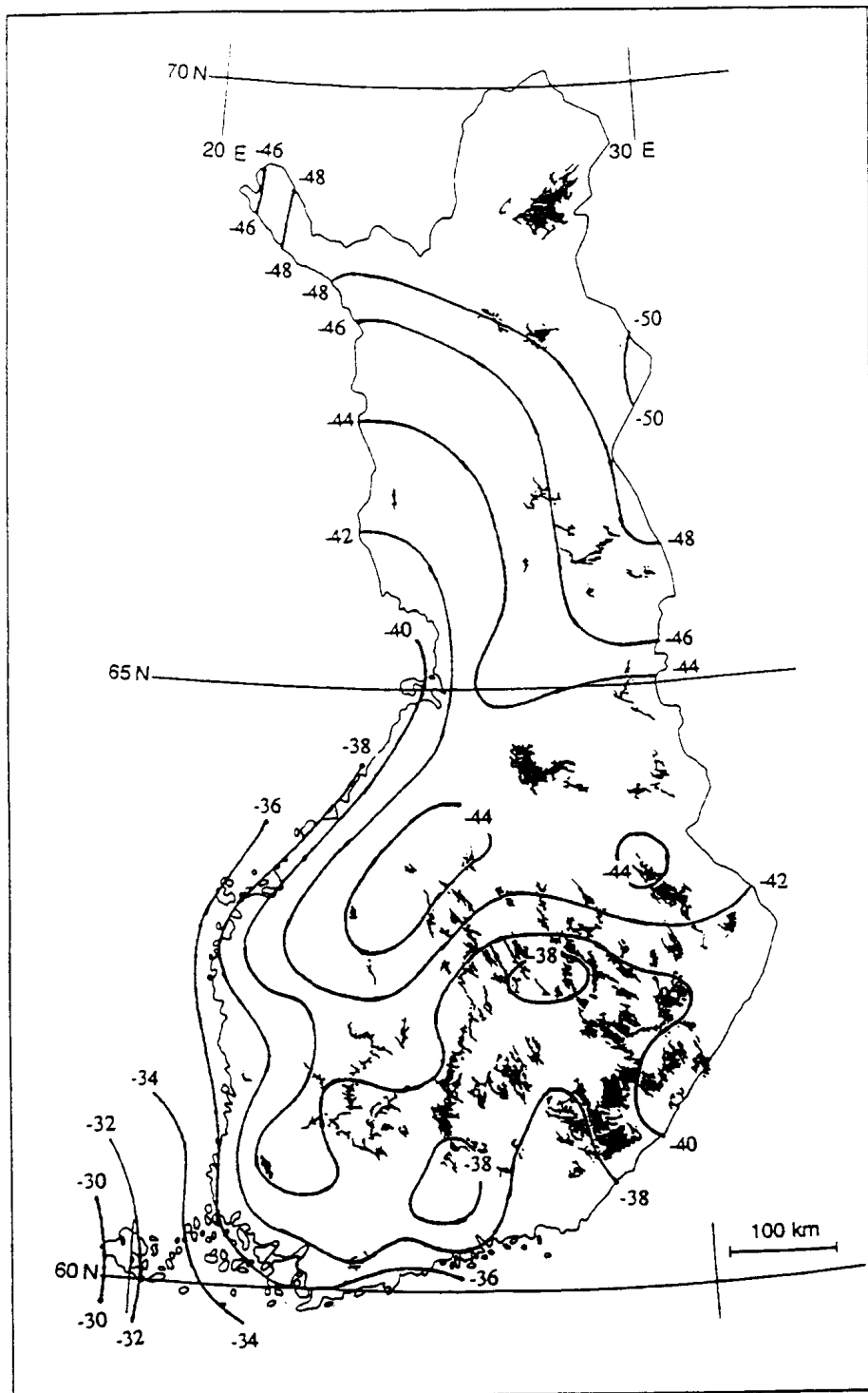
En général on peut considérer que la température minimale de l'air sous abri est - 31 °C.

(2) Isotherme de la température maximale de l'air sous abri.

En général on peut considérer que la température maximale de l'air sous abri est + 36 °C.

A.3.6 Finlande

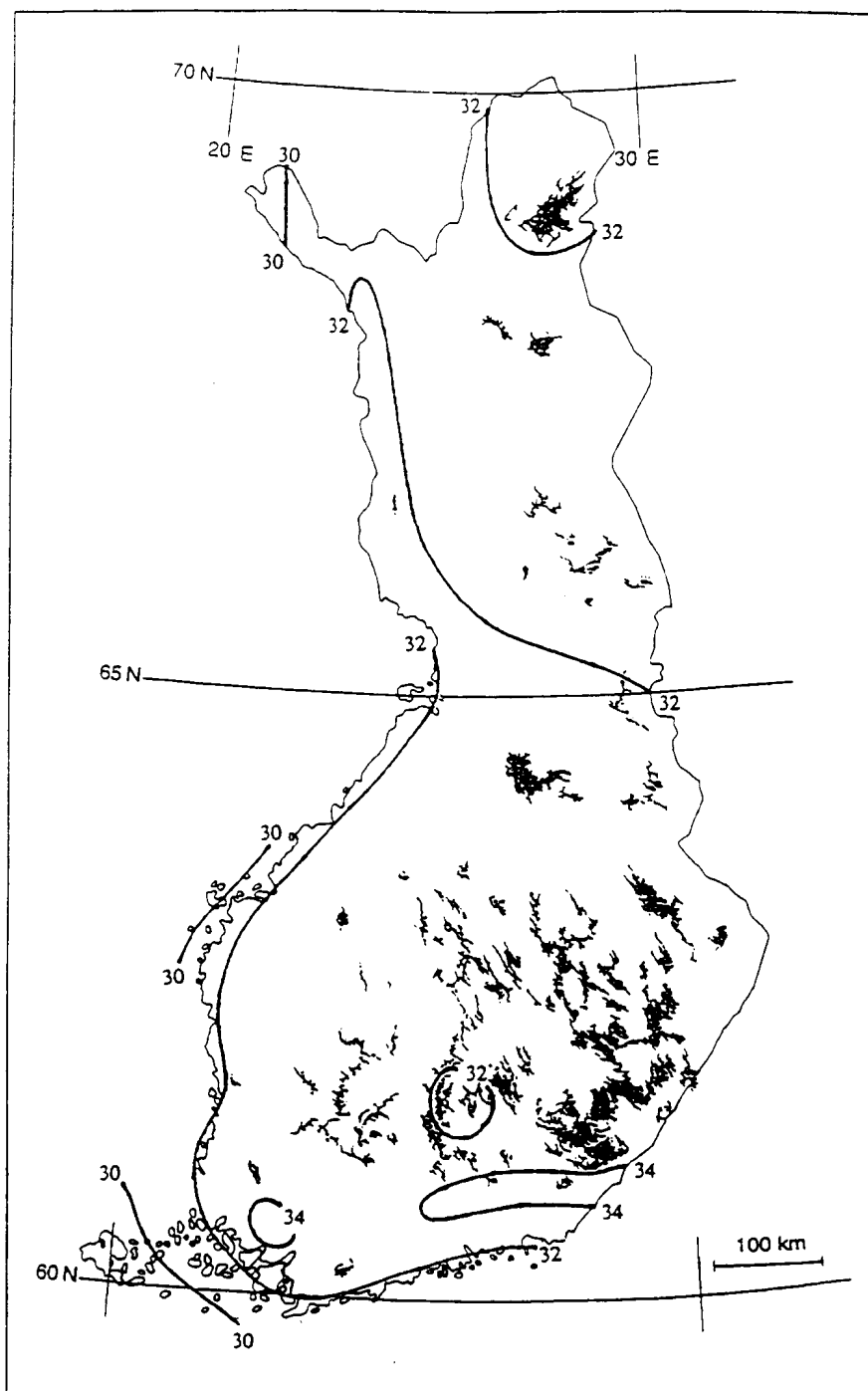
(1) Isothermes de la température minimale de l'air sous abri en °C.



Température annuelle minimale (°C) avec période de retour de 50 ans. Les données représentent les températures minimales calculées pendant une période d'observation de 50 ans. Des écarts locaux significatifs sont à attendre dus à la topographie et au développement urbain.

A.3.6 Finlande

(1) Isothermes de la température maximale de l'air sous abri en °C.



Température annuelle maximale (°C) avec période de retour de 50 ans. Les données représentent les températures maximales calculées pendant une période d'observation de 50 ans. Des écarts locaux significatifs sont à attendre dus à la topographie et au développement urbain.

A.3.8 Allemagne

(1) Isothermes de la température minimale de l'air sous abri.

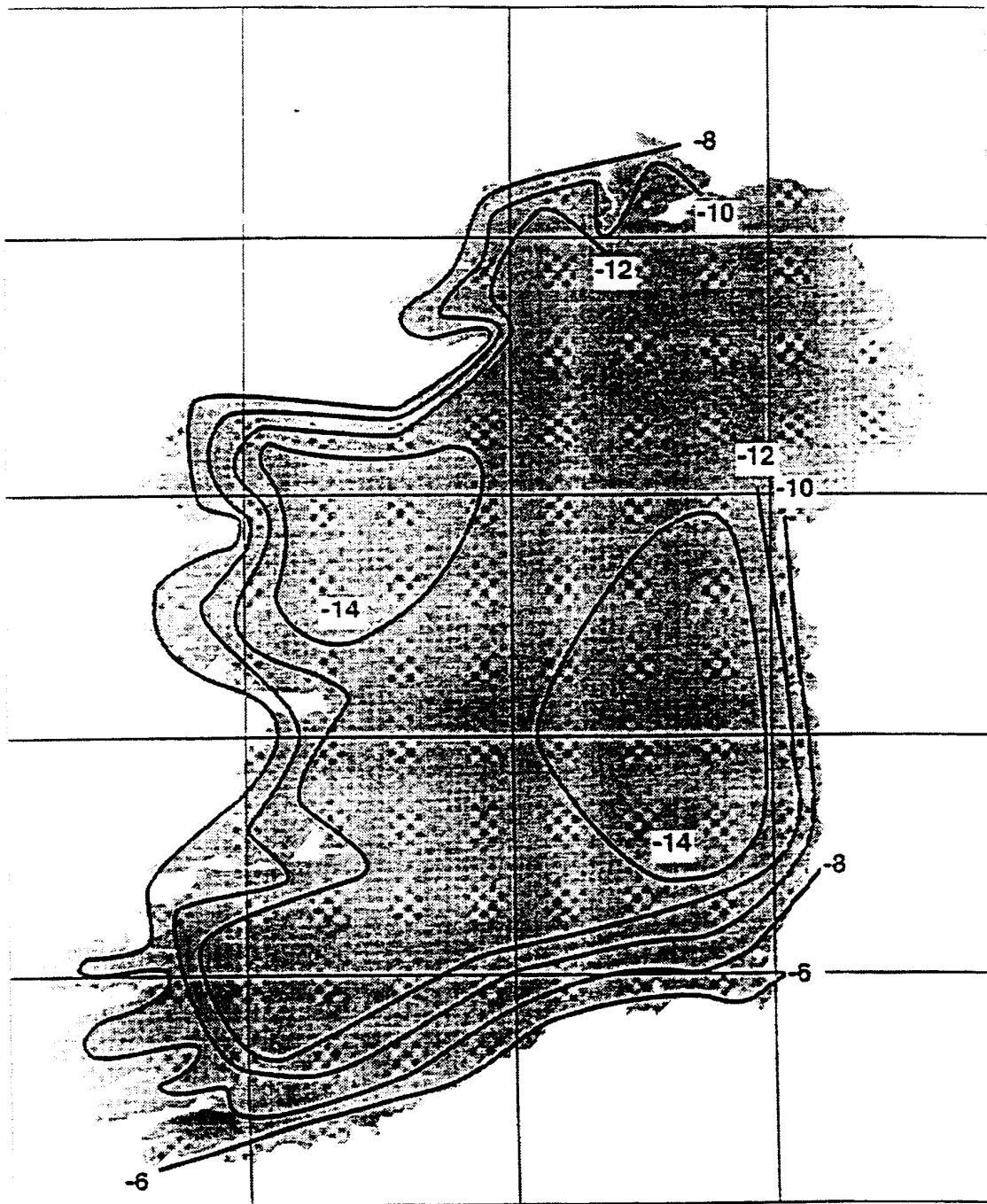
En général, on peut considérer que la température minimale de l'air sous abri est – 24 °C.

(2) Isothermes de la température maximale de l'air sous abri.

En général on peut considérer que la température maximale de l'air sous abri est + 37 °C.

A.3.11 Irlande

(1) Isothermes de la température minimale de l'air sous abri en °C.



Les valeurs ont été ajustées par rapport au niveau moyen de la mer supposant un taux d'erreur de 0,5 °C par 100 m.

$$k_3 = 0,500$$

$$k_4 = - 0,130$$

A.3.11 Irlande

(1) Isothermes de la température maximale de l'air sous abri en °C.



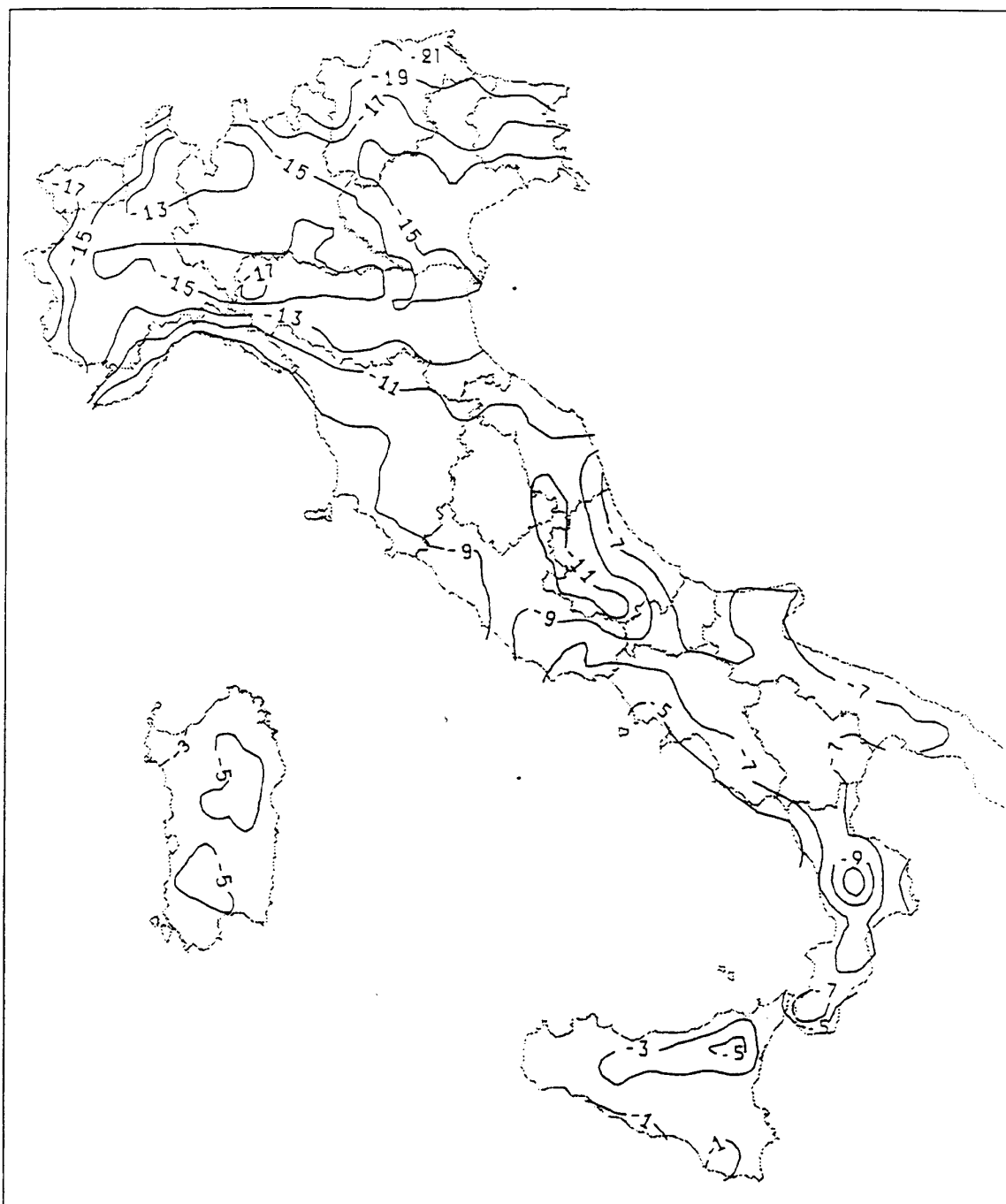
Les valeurs ont été ajustées par rapport au niveau moyen de la mer supposant un taux d'erreur de 0,5 °C par 100 m.

$$k_1 = 0,800$$

$$k_2 = 0,052$$

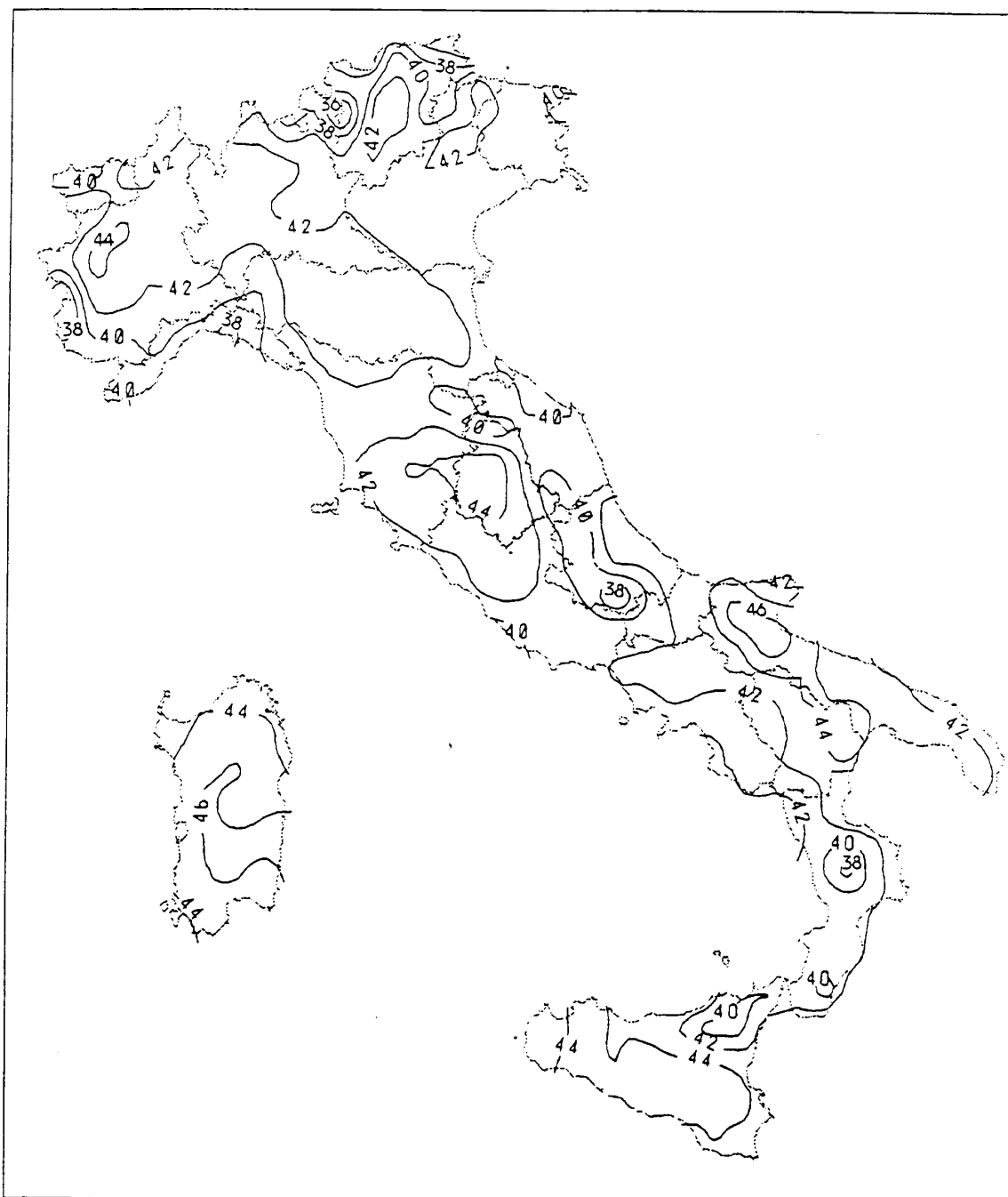
A.3.12 Italie (CARTE NON OFFICIELLE)

(1) Isothermes de la température minimale de l'air sous abri en °C.



A.3.12 Italie (CARTE NON OFFICIELLE)

(2) Isothermes de la température maximale de l'air sous abri en °C.



A.3.13 Luxembourg

(1) Isotherme de la température minimale de l'air sous abri en °C.

En général on peut considérer que la température minimale de l'air sous abri est – 24 °C.

(2) Isotherme de la température maximale de l'air sous abri en °C.

En général on peut considérer que la température maximale de l'air sous abri est + 37 °C.

A.3.14 Pays-Bas

(1) Isotherme de la température minimale de l'air sous abri.

En général on peut considérer que la température minimale de l'air sous abri est -22°C .

Pour les provinces côtières N-Holland, Z-Holland et Zeeland on peut considérer que la température minimale de l'air sous abri est -17°C .

(2) Isotherme de la température maximale de l'air sous abri.

En général on peut considérer que la température maximale de l'air sous abri est $+38^{\circ}\text{C}$.

Pour les provinces côtières N-Holland, Z-Holland et Zeeland on peut considérer que la température maximale de l'air sous abri est $+35^{\circ}\text{C}$.

A.3.16 Portugal

(1) Isotherme de la température minimale de l'air sous abri.

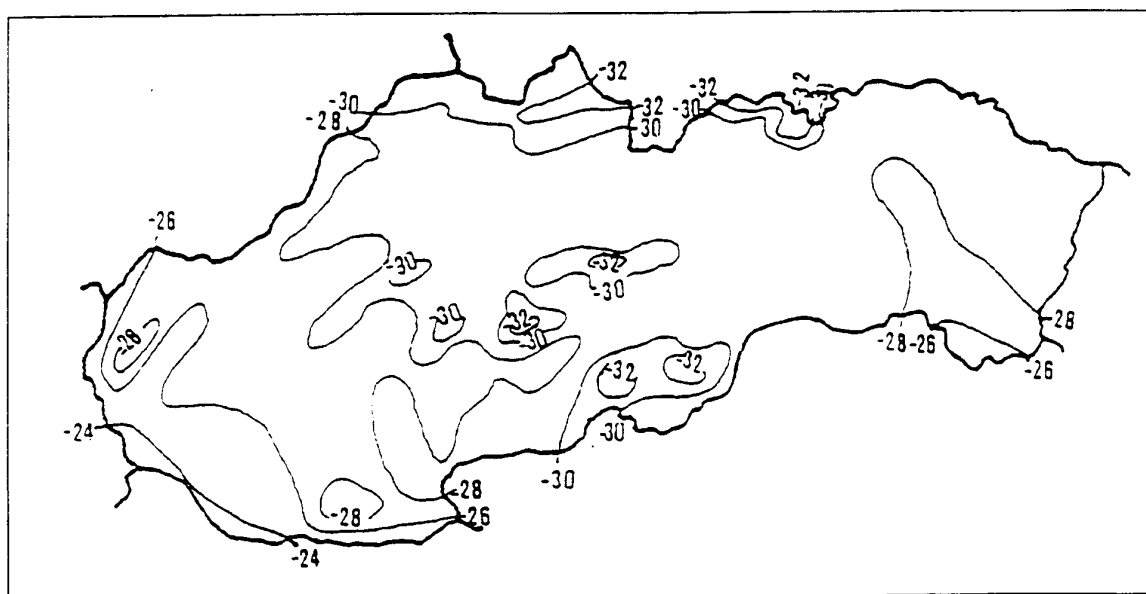
En général on peut considérer que la température minimale de l'air sous abri est $- 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

(2) Isotherme de la température maximale de l'air sous abri.

En général on peut considérer que la température maximale de l'air sous abri est $+ 40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

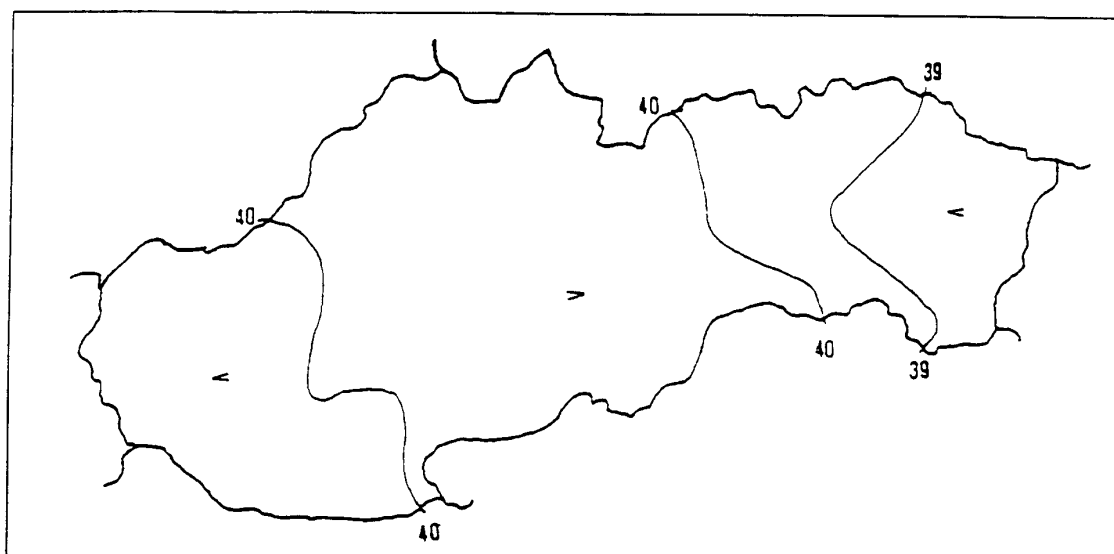
A.3.17 Slovaquie

(1) Isothermes de la température minimale de l'air sous abri en °C.



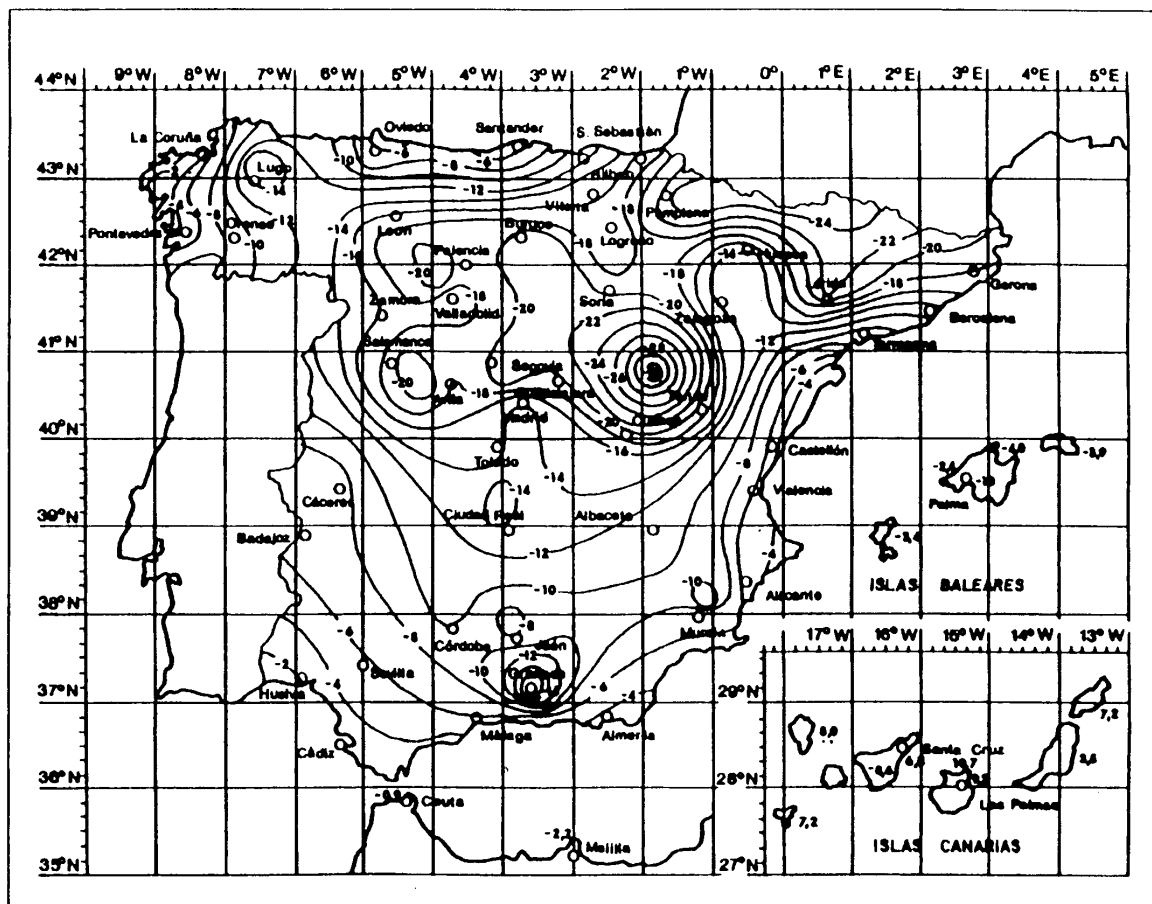
A.3.17 Slovaquie

(1) Isothermes de la température maximale de l'air sous abri en °C.



A.3.18 Espagne

(1) Isothermes de la température minimale de l'air sous abri en °C.

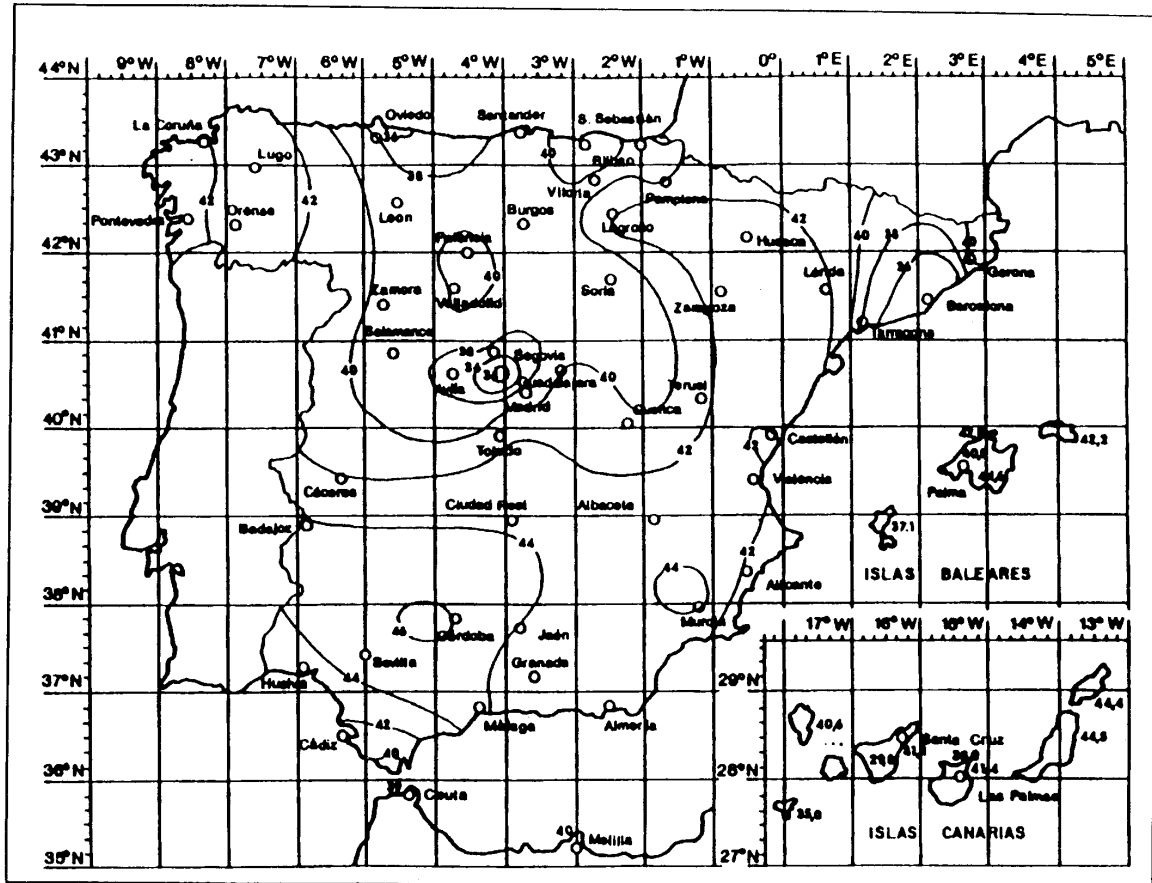


Les valeurs ont été déterminées en utilisant la méthode suivante :

- données de température de 1961 à 1990 ;
- des ajustements ont été fait en utilisant une valeur extrême de la fonction de distribution. Probabilité maximale ;
- période de retour de 50 ans ;
- degré de confiance 90 pour cent ;
- la carte a été réalisée en utilisant la méthode linéaire de Kriging.

A.3.18 Espagne

(1) Isothermes de la température maximale de l'air sous abri en °C.



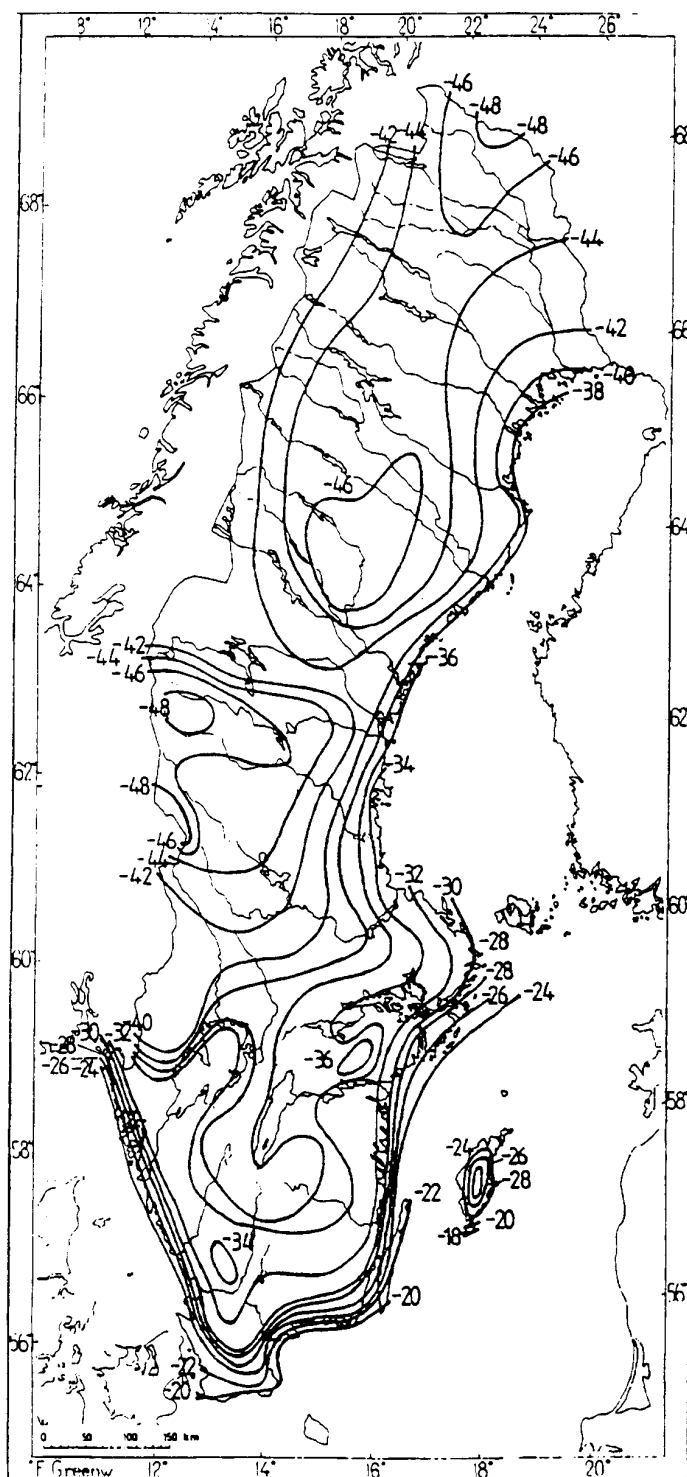
Les valeurs ont été déterminées en utilisant la méthode suivante :

- données de température de 1961 à 1990 ;
- des ajustements ont été fait en utilisant une valeur extrême de la fonction de distribution. Probabilité maximale ;
- période de retour de 50 ans ;
- degré de confiance 90 pour cent ;
- la carte a été réalisée en utilisant la méthode linéaire de Kriging.

A.3.19 Suède

(1) Isothermes de la température minimale de l'air sous abri en °C.

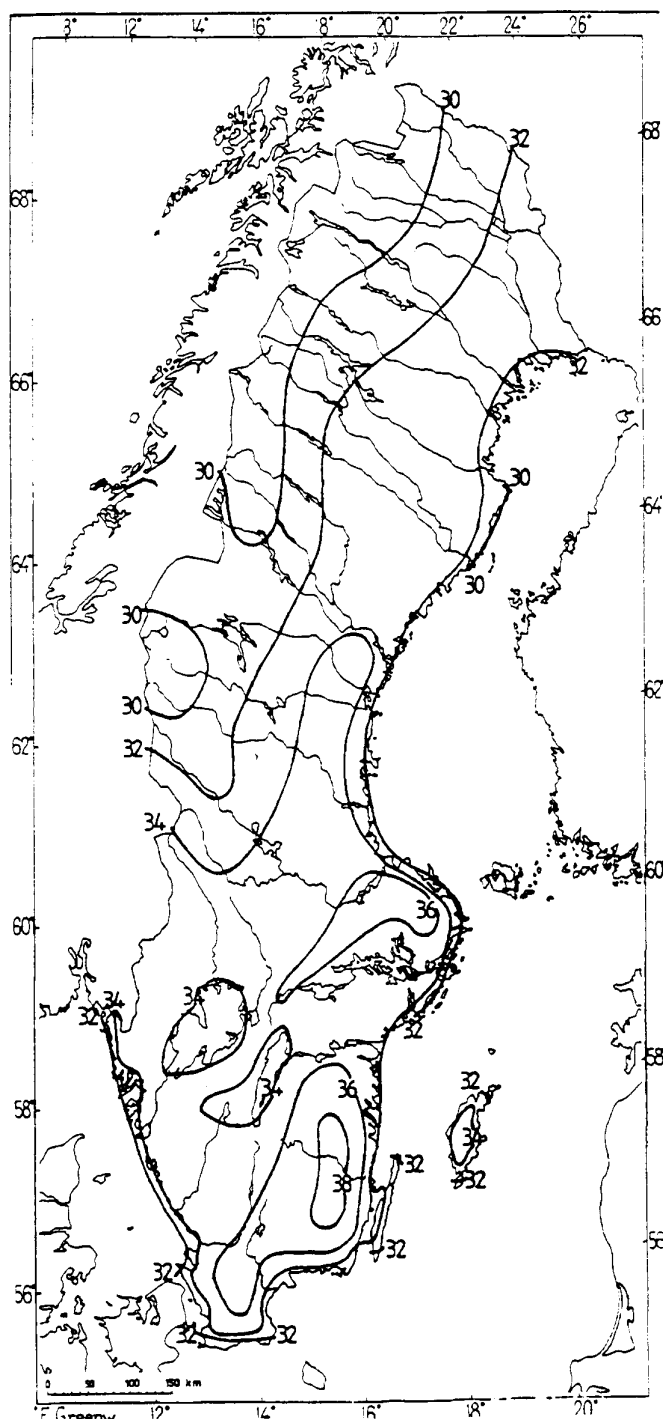
Les données représentent des valeurs modales des températures annuelles minimales observées, calculées pour une période d'observation de 50 ans. Des écarts significatifs sont à attendre suite à la topographie et le développement urbain.



A.3.19 Suède

(2) Isothermes de la température maximale de l'air sous abri en °C.

Les données représentent des valeurs modales des températures annuelles maximales observées, calculées pour une période d'observation de 50 ans. Des écarts significatifs sont à attendre suite à la topographie et le développement urbain.



A.3.20 Suisse

(1) Isothermes de la température minimale de l'air sous abri.

En général on peut considérer que la température minimale de l'air sous abri est :

Au Nord de Alpes - 28 °C ;

Au Sud des Alpes - 20 °C.

(2) Isotherme de la température maximale de l'air sous abri

En général on peut considérer que la température maximale de l'air sous abri est :

Au Nord de Alpes + 38 °C ;

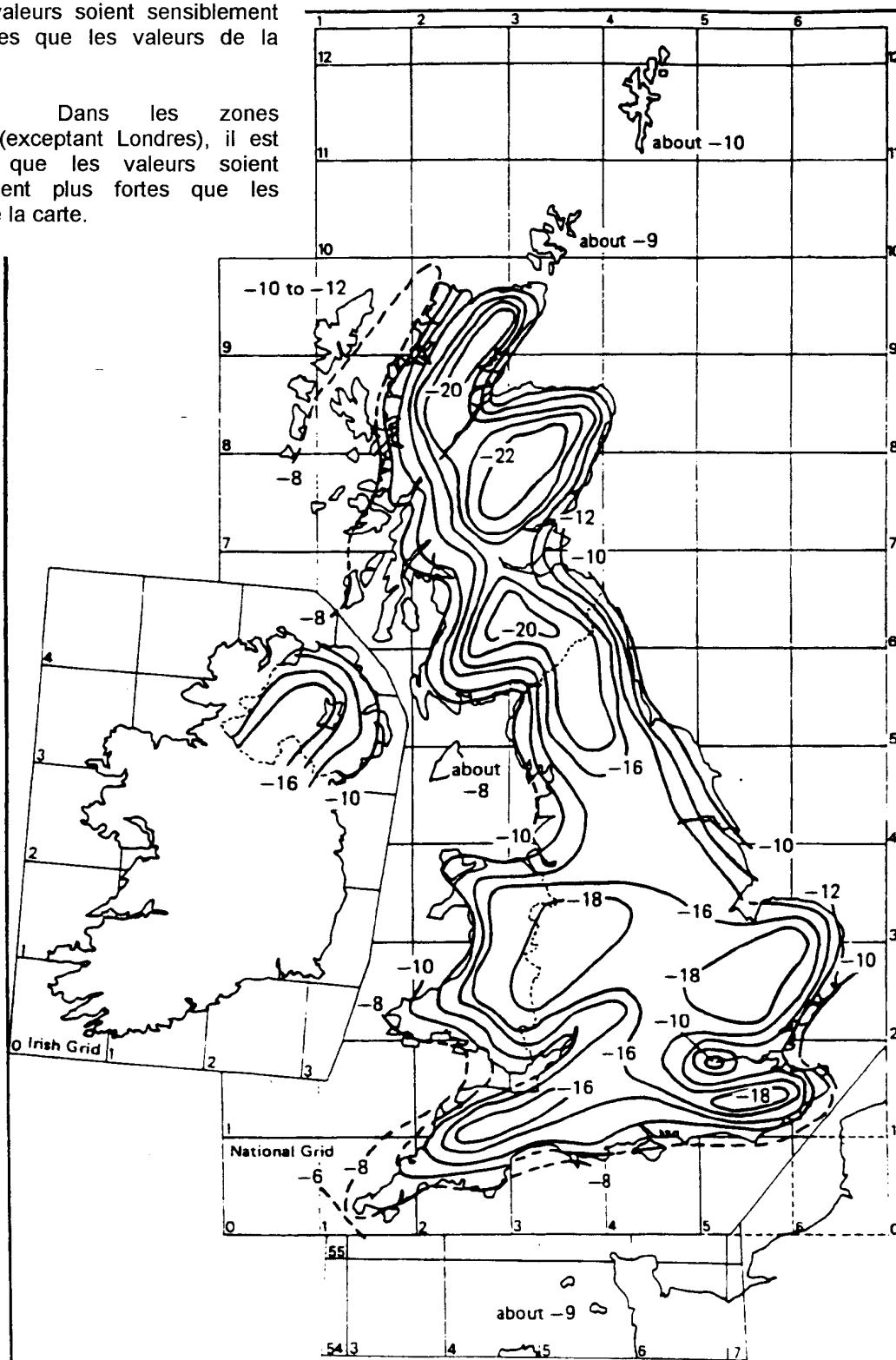
Au Sud des Alpes + 36 °C.

A.3.21 Royaume-Uni

(1) Isothermes de la température minimale de l'air sous abri en °C.

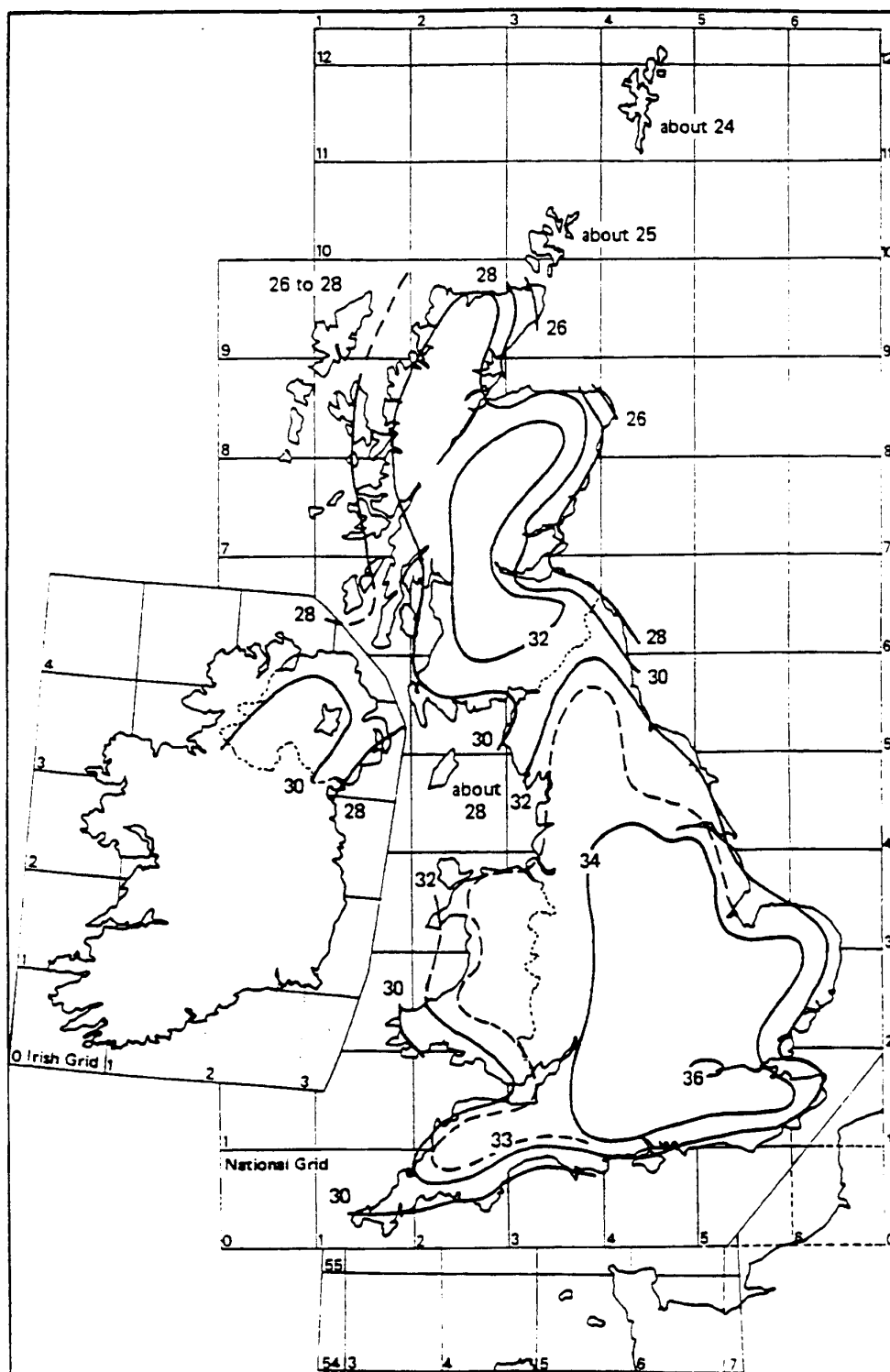
NOTE 1 Dans les zones protégées situées bas, il est probable que les valeurs soient sensiblement plus faibles que les valeurs de la carte.

NOTE 2 Dans les zones urbaines (exceptant Londres), il est probable que les valeurs soient sensiblement plus fortes que les valeurs de la carte.



A.3.21 Royaume-Uni

(2) Isothermes de la température maximale de l'air sous abri en °C.



Annexe B (normative)

Modèles pour l'évaluation des actions thermiques non-linéaires dans les ponts

NOTE Le contenu de la présente annexe peut être introduit dans le texte principal lors d'une prochaine étape de l'EN à la lumière de l'utilisation par les États membres.

B.1 Généralités

- (1) Cette annexe contient des tableaux de gradients de température positifs ou négatifs.
- (2) Les gradients de température sont présentés pour chacun des trois groupes de tabliers indiqués dans la figure B.1 pour différentes conditions de revêtements.
- (3) Les gradients de température présentés sont définis dans les tableaux et les figures ci-après.

B.2 Effet de l'épaisseur du revêtement

- (1) Les valeurs des écarts de température données dans la Figure B.1 peuvent être utilisées. Les valeurs sont valables pour des épaisseurs de revêtement de 40 mm pour les superstructures du groupe 1 et des épaisseurs de revêtements de 100 mm pour les groupes 2 et 3. Pour d'autres épaisseurs du revêtement, il convient d'utiliser les valeurs contenues dans les tableaux B.1 à B.3.

Tableau B.1 - Valeurs de T pour les superstructures du groupe 1

Epaisseur du revêtement	Profil d'écart de température positif				Profil d'écart de température négatif
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T1
mm	°C	°C	°C	°C	°C
sans revêtement	[30]	[16]	[6]	[3]	[8]
20	[27]	[15]	[9]	[5]	[6]
40	[24]	[14]	[8]	[4]	[6]

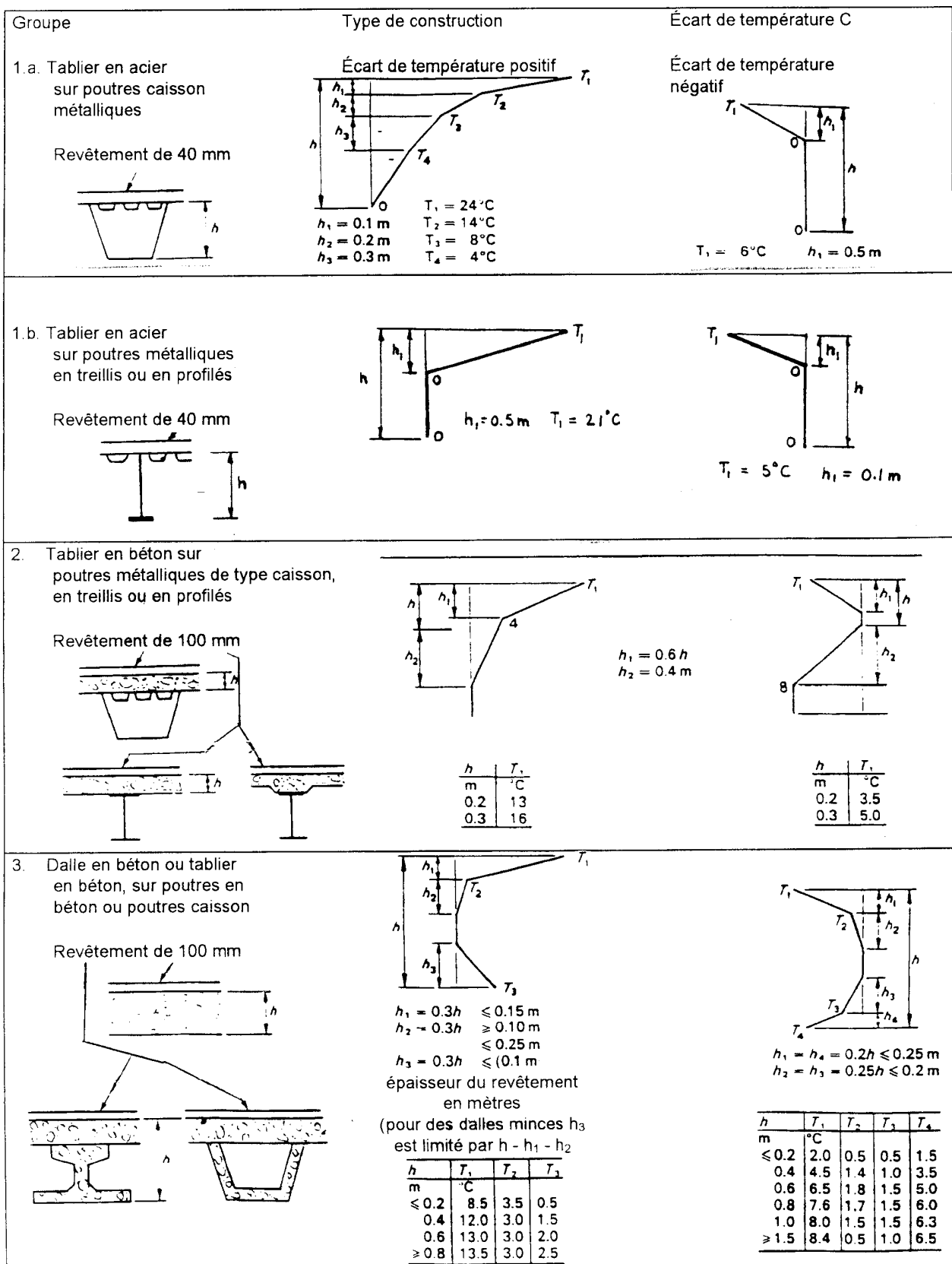


Figure B.1 - Gradients de température pour différents groupes de superstructure

Tableau B.2 - Valeurs de T pour superstructures du groupe 2

Épaisseur de la dalle (h)	Épaisseur du revêtement	Écart de température positif	Écart de température négatif
		T1	T1
mm	mm	°C	°C
0,2	sans revêtement imperméabilisée	[16,5]	[5,9]
		[23,0]	[5,9]
		50	[4,4]
		100	[3,5]
		150	[2,3]
		200	[1,6]
0,3	sans revêtement imperméabilisée	[18,5]	[9,0]
		[26,5]	[9,0]
		[20,5]	[6,8]
		[16,0]	[5,0]
		[12,5]	[3,7]
		[10,0]	[2,7]

Tableau B.3 - Valeurs de T pour superstructure du groupe 3

Épaisseur de la dalle (h)	Épaisseur du revêtement	Écart de température positif			Écart de température négatif			
		T ₁	T ₂	T ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
m	mm	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
0,2	sans revêtement	[12,0]	[5,0]	[0,1]	[4,7]	[1,7]	[0,0]	[0,7]
	imperméabilisée	[19,5]	[8,5]	[0,0]	[4,7]	[1,7]	[0,0]	[0,7]
	50	[13,2]	[4,9]	[0,3]	[3,1]	[1,0]	[0,2]	[1,2]
	100	[8,5]	[3,5]	[0,5]	[2,0]	[0,5]	[0,5]	[1,5]
	150	[5,6]	[2,5]	[0,2]	[1,1]	[0,3]	[0,7]	[1,7]
	200	[3,7]	[2,0]	[0,5]	[0,5]	[0,2]	[1,0]	[1,8]
0,4	sans revêtement	[15,2]	[4,4]	[1,2]	[9,0]	[3,5]	[0,4]	[2,9]
	imperméabilisée	[23,6]	[6,5]	[1,0]	[9,0]	[3,5]	[0,4]	[2,9]
	50	[17,2]	[4,6]	[1,4]	[6,4]	[2,3]	[0,6]	[3,2]
	100	[12,0]	[3,0]	[1,5]	[4,5]	[1,4]	[1,0]	[3,5]
	150	[8,5]	[2,0]	[1,2]	[3,2]	[0,9]	[1,4]	[3,8]
	200	[6,2]	[1,3]	[1,0]	[2,2]	[0,5]	[1,9]	[4,0]
0,6	sans revêtement	[15,2]	[4,0]	[1,4]	[11,8]	[4,0]	[0,9]	[4,6]
	imperméabilisée	[23,6]	[6,0]	[1,4]	[11,8]	[4,0]	[0,9]	[4,6]
	50	[17,6]	[4,0]	[1,8]	[8,7]	[2,7]	[1,2]	[4,9]
	100	[13,0]	[3,0]	[2,0]	[6,5]	[1,8]	[1,5]	[5,0]
	150	[9,7]	[2,2]	[1,7]	[4,9]	[1,1]	[1,7]	[5,1]
	200	[7,2]	[1,5]	[1,5]	[3,6]	[0,6]	[1,9]	[5,1]
0,8	sans revêtement	[15,4]	[4,0]	[2,0]	[12,8]	[3,3]	[0,9]	[5,6]
	imperméabilisée	[23,6]	[5,0]	[1,4]	[12,8]	[3,3]	[0,9]	[5,6]
	50	[17,8]	[4,0]	[2,1]	[9,8]	[2,4]	[1,2]	[5,8]
	100	[13,5]	[3,0]	[2,5]	[7,6]	[1,7]	[1,5]	[6,0]
	150	[10,0]	[2,5]	[2,0]	[5,8]	[1,3]	[1,7]	[6,2]
	200	[7,5]	[2,1]	[1,5]	[4,5]	[1,0]	[1,9]	[6,0]
1,0	sans revêtement	[15,4]	[4,0]	[2,0]	[13,4]	[3,0]	[0,9]	[6,4]
	imperméabilisée	[23,6]	[5,0]	[1,4]	[13,4]	[3,0]	[0,9]	[6,4]
	50	[17,8]	[4,0]	[2,1]	[10,3]	[2,1]	[1,2]	[6,3]
	100	[13,5]	[3,0]	[2,5]	[8,0]	[1,5]	[1,5]	[6,3]
	150	[10,0]	[2,5]	[2,0]	[6,2]	[1,1]	[1,7]	[6,2]
	200	[7,5]	[2,1]	[1,5]	[4,3]	[0,9]	[1,9]	[5,8]
1,5	sans revêtement	[15,4]	[4,5]	[2,0]	[13,7]	[1,0]	[0,6]	[6,7]
	imperméabilisée	[23,6]	[5,0]	[1,4]	[13,7]	[1,0]	[0,6]	[6,7]
	50	[17,8]	[4,0]	[2,1]	[10,6]	[0,7]	[0,8]	[6,6]
	100	[13,5]	[3,0]	[2,5]	[8,4]	[0,5]	[1,0]	[6,5]
	150	[10,0]	[2,5]	[2,0]	[6,5]	[0,4]	[1,1]	[6,2]
	200	[7,5]	[2,1]	[1,5]	[5,0]	[0,3]	[1,2]	[5,6]

Annexe C (informative)

Détermination des effets de température dans les tabliers de ponts

C.1 Généralités

(1) Conformément au système des Eurocodes, il convient que les valeurs caractéristiques des charges variables soient déterminées pour l'état limite ultime (ULS). Pour les actions thermiques la valeur caractéristique est considérée comme ayant une période de retour de 50 ans.

(2) Conformément à l'ENV-1-1 et ENV-1-3 il convient que trois situations de projet, soient considérées pour l'état limite de service (SLS), et que trois valeurs correspondantes représentatives de charges ou d'actions soient déterminées :

- non fréquentes (la période de retour du phénomène est une année) ;
- fréquentes (la période de retour du phénomène est de deux semaines) ;
- quasi-permanentes.

(3) Ces valeurs représentatives peuvent être obtenues à l'aide de coefficients réducteurs ψ , lesquels conduisent, lorsqu'on les multiplie par la valeur caractéristique, au niveau d'actions avec les périodes de retour données.

$$\Delta T_1' = \psi_1' \Delta T_k \quad (\text{valeur non fréquente de l'action thermique})$$

$$\Delta T_1 = \psi_1 \Delta T_k \quad (\text{valeur fréquente de l'action thermique})$$

$$\Delta T_2 = \psi_2 \Delta T_k \quad (\text{valeur quasi-permanente de l'action thermique})$$

avec :

$$\Delta T_k \quad \text{valeur caractéristique des actions thermiques}$$

(4) Les valeurs suivantes peuvent être utilisées pour les coefficients ψ :

$$\psi_1' = 0,8 ;$$

$$\psi_1 = 0,6 .$$

$$\psi_2 = 0,5.$$

C.2 Calcul du profil de température à travers l'épaisseur du tablier de pont

(1) Le calcul de la distribution de température à travers les tabliers de ponts a été étudié par de nombreux auteurs. Les profils présentés dans l'annexe B ont été déduits à l'aide de procédés de calcul développés au Royaume Uni, où l'on utilise un modèle uni-dimensionnel du flux de chaleur, tel qu'il est mis en évidence par différents rapports.

C.3 Données climatiques

(1) Les conditions environnantes qui exercent une influence majeure sur la température d'un pont sont la température de l'air sous abri et les rayonnements (soit des radiations solaires totales incidentes (TSR), soit des radiations émises par le tablier). La vitesse du vent peut également jouer un rôle important, ceci pouvant être reflété dans la valeur du coefficient de transfert de chaleur adopté.

(2) Comme les profils d'écart de température maximaux positifs, à travers les tabliers des ponts, se produisent invariablement en été, il y a lieu que les données pour l'Eurocode soient recueillies systématiquement lors des mois de Juin, Juillet et Août. Les profils d'écarts de température minimaux négatifs peuvent se produire à toute période de l'année.

(3) Ainsi, pour déterminer les effets de température dans les tabliers des ponts, les données climatiques suivantes sont exigées :

- température de l'air sous abri ;
- rayonnement solaire ;
- rayonnement réémis pendant la nuit.

(4) Il y a lieu que ces données soient obtenues pour chaque pays, ou pour chaque zone climatique si un pays comporte plusieurs zones climatiques.

(5) Dans tous les cas, il convient que la période d'observation des données climatiques soit la plus longue possible et idéalement d'au moins 25 ans.

C.4 Données structurales

(1) Les effets de température dans les ponts sont affectés par la disposition de la structure et par les matériaux utilisés.

Les paramètres les plus importants sont les suivants :

- caractéristiques géométriques de la section transversale du pont ;
- propriétés thermiques et matériaux du tablier du pont tels que :
 - coefficient d'absorptivité ;
 - coefficient d'émissivité ;
 - coefficient de transfert de chaleur sur les surfaces ;
 - conductivité thermique ;
 - chaleur spécifique ;
 - densité.

C.5 Détermination des écarts de température

(1) Les gradients thermiques linéaires maximal et minimal peuvent être extraits en utilisant les paramètres ci-dessus.

(2) Pour les tabliers de ponts en béton, l'utilisation d'un modèle uni-dimensionnel de flux de chaleur peut être appropriée.

(3) Dans le cas des tabliers de ponts métalliques ou composites, un modèle de flux de chaleur bi-dimensionnel peut être exigé pour tenir compte de différences dans la section.

(4) Pour les sections transversales composites, il convient que les propriétés de chaque matériau soient considérées, pour déduire le champ de température équivalent. Ceci peut être fait comme suit :

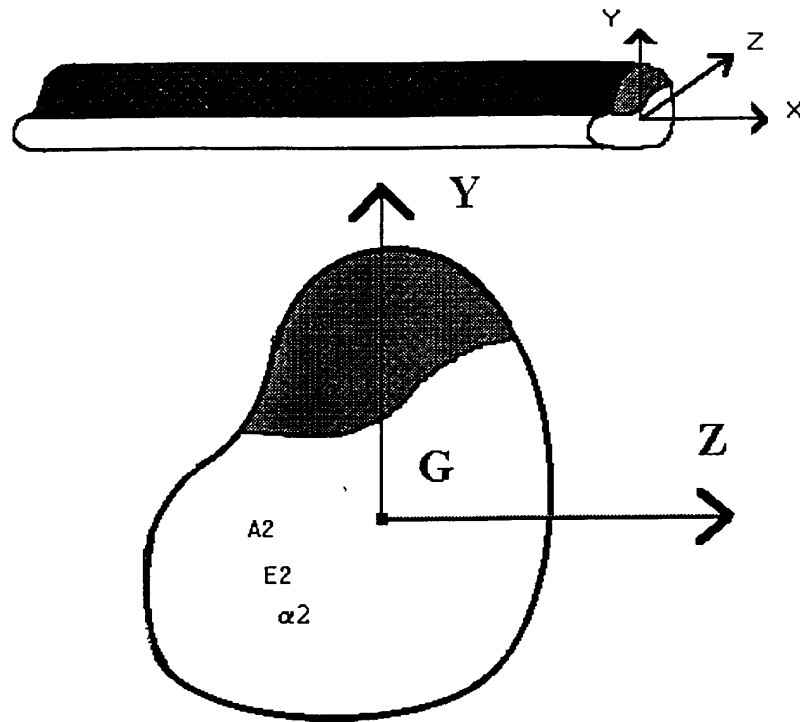


Figure C.1 - Section transversale composite

(5) En se rapportant à la figure 4.1 et à la figure C.1, si :

$$n_E = \frac{E_1}{E_2} \quad (C.1)$$

$$n_\alpha = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} \quad (C.2)$$

ou :

E_1 est le module d'élasticité de Young du matériau 1 ;

E_2 est le module d'élasticité de Young du matériau 2 ;

α_1 est le coefficient de dilatation linéaire du matériau 1 ;

α_2 est le coefficient de dilatation linéaire du matériau 2 ;

A_1 est la surface de la section transversale du matériau 1 ;

A_2 est la surface de la section transversale du matériau 2.

La composante de température uniforme effective est donnée par :

$$\Delta T_N = \frac{n_E n_\alpha \iint_{A_1} T(z, y) dA_1 + \iint_{A_2} T(z, y) dA_2}{n_E A_1 + A_2} \quad (C.3)$$

(6) Le gradient de température linéaire suivant l'axe y-y (°C/m) est donné par :

$$DT_{My} = \frac{n_E n_a \int_{A_1} T(z,y) y dA_1 + \int_{A_2} T(z,y) y dA_2}{n_E J_{z1} + J_{z2}} \quad (C.4)$$

où :

DT_{My} est le gradient linéaire de température suivant l'axe y-y en (°C/m) ;

J_{z1} est le moment d'inertie de l'aire du matériau 1 par rapport à l'axe central principal z, de la section transversale homogénéisée en (m⁴) ;

J_{z2} est le moment d'inertie de l'aire du matériau 2 par rapport à l'axe central principal z, de la section transversale homogénéisée en (m⁴).

(7) Le gradient linéaire de température suivant l'axe z-z (°C/m) est donné par :

$$DT_{Mz} = \frac{n_E n_a \int_{A_1} T(z,y) z dA_1 + \int_{A_2} T(z,y) z dA_2}{n_E J_{y1} + J_{y2}} \quad (C.5)$$

où :

DT_{Mz} est le gradient linéaire de température suivant l'axe z-z en (°C/m)

J_{y1} est le moment d'inertie de l'aire du matériau 1 par rapport à l'axe principal central y de la section transversale homogénéisée en (m⁴).

J_{y2} est le moment d'inertie de l'aire du matériau 2 par rapport à l'axe principal central y de la section transversale homogénéisée en (m⁴).

(8) Si l'axe y est vertical et l'axe z est horizontal alors :

$$\Delta T_{My} = h \times DT_{My} ; \text{ et } \Delta T_{Mz} = b \times DT_{Mz} \quad (C.6)$$

où :

h est la hauteur de la section transversale (verticale) ;

b est la largeur de la section transversale (horizontale).

(9) Lorsque T(z,y) est uniforme sur toute la section transversale, les équations (C.4 et C.5) conduisent néanmoins à des gradients linéaires vertical et horizontal différents de zéro qui sont respectivement :

$$DT_{My} = \frac{n_E n_a \int_{A_1} y dA_1 + \int_{A_2} y dA_2}{n_E J_{z1} + J_{z2}} \quad DT_{Mz} = \frac{n_E n_a \int_{A_1} z dA_1 + \int_{A_2} z dA_2}{n_E J_{y1} + J_{y2}} \quad (C.7)$$

et sont égaux à zéro uniquement quand $n_a = 1$, ce qui arrive lorsque les coefficients de dilatation thermique linéaire des deux matériaux sont les mêmes.

C.6 Analyse statistique

(1) Afin de déterminer des valeurs appropriées des domaines et des écarts de température, des analyses statistiques doivent être effectuées.

Annexe D (informative)

Coefficients de dilatation linéaire

(1) Dans le but de déduire les actions thermiques conformément à cette partie, le tableau D.1 donne des valeurs pour les coefficients de dilatation linéaire pour une sélection de matériaux utilisés communément.

Tableau D.1. : Coefficients de dilatation linéaire

Matériau	α_T ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)
Aluminium, alliages d'aluminium	24
Acier inoxydable	16
Acier structural, fer forgé ou coulé	12
Béton à l'exception des suivants	12
Béton à agrégats calcaires	9
Béton cellulaire	7
Maçonnerie	6-10 (voir notes)
Verre	(voir note 4)
Bois parallèle aux fibres	5
Bois perpendiculaire aux fibres	30-70 (voir notes)
NOTE 1 Pour d'autres matériaux il y a lieu de demander conseil. NOTE 2 Il convient que les valeurs données soient utilisées pour déterminer les actions thermiques à moins qu'une valeur plus faible puisse être vérifiée par essais ou par des études plus poussées. NOTE 3 Les valeurs pour la maçonnerie peuvent varier en fonction du type de briques ; les valeurs pour le bois perpendiculaire aux fibres peuvent varier sensiblement en fonction du type de bois. NOTE 4 Pour des informations plus détaillées voir : EN 572-1 Le verre dans le bâtiment - Verre à base de soude - Partie 1 : Définitions et propriétés générales physiques et mécaniques ; pr EN 1748-1 : Le verre dans le bâtiment - Produits spéciaux - Partie 1 : Verre de borosilicate ; pr EN 1748-2 : Le verre dans le bâtiment - Produits spéciaux - Partie 2 : Céramique de verre. NOTE 5 Pour certains matériaux, comme la maçonnerie et le bois, d'autres paramètres (par exemple : le contenu d'humidité) peuvent être également nécessaires, (voir ENV 1995:1996).	