

**RECOMMENDATIONS**

**FOR SI UNITS FOR**

**DIESEL ENGINES**

**AND GAS TURBINES**

**RECOMMANDATIONS**

**POUR L'EMPLOI DES UNITÉS SI**

**DANS LA TECHNIQUE DES**

**MACHINES A COMBUSTION**

**C I M A C**

---

*INTERNATIONAL COUNCIL ON COMBUSTION ENGINES*      *CONSEIL INTERNATIONAL DES MACHINES A COMBUSTION*

---

**10, AVENUE HOCHÉ • 75382 PARIS CEDEX 08**

# CIMAC RECOMMENDATIONS FOR THE USE OF SI UNITS IN INTERNAL COMBUSTION ENGINEERING

## INTRODUCTION

### 1 - SCOPE

The purpose of this recommendation is to list symbols and SI units for use in Internal Combustion Engineering. The recommendations and selections of units are based on the following ISO recommendations : R/1000/1969, R 31 (Part I, Part II, Part III, Part IV and Part XI).

### 2 - GENERAL

**2.1** - The SI system is based on the following basic-units :

metre (m), ampere (A), kilogramme (kg), kelvin (K), second (s), candela (cd).

**2.2** - Attention is drawn to the following special names and symbols for some SI units :

TABLE I

Quantity	Name of SI Unit	Sym-bols	Equivalents
Frequency . . .	hertz	Hz	1 Hz = 1 s <sup>-1</sup>
Force . . . . .	newton	N	1 N = 1 kg. m/s <sup>2</sup>
Work, energy, quantity of heat .	joule	J	1 J = 1 N. m
Power. . . . .	watt	W	1 W = 1 J/s

**2.3** - The following multiples and sub-multiples are recommended :

TABLE II

Factor	Prefix	Symbol
10 <sup>12</sup>	tera	T
10 <sup>9</sup>	giga	G
10 <sup>6</sup>	mega	M
10 <sup>3</sup>	kilo	k
10 <sup>2</sup>	hecto	h
10	deca	da
10 <sup>-1</sup>	deci	d
10 <sup>-2</sup>	centi	c
10 <sup>-3</sup>	milli	m
10 <sup>-6</sup>	micro	μ
10 <sup>-9</sup>	nano	n
10 <sup>-12</sup>	pico	p
10 <sup>-15</sup>	femto	f
10 <sup>-18</sup>	atto	a

The symbol of a prefix is to be combined with the unit symbol to which it is directly attached, forming with it a new unit symbol which can be raised to a positive or negative power and which can be combined with other unit symbols to form symbols for compound units.

*Examples :*

$$1 \text{ mm}^3 = (10^{-3} \text{ m})^3 = 10^{-9} \text{ m}^3$$

$$1 \text{ μs}^{-1} = (10^{-6} \text{ s})^{-1} = 10^6 \text{ s}^{-1}$$

$$1 \text{ mm}^2/\text{s} = (10^{-3} \text{ m})^2/\text{s} = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

Compound prefixes should not be used.

### 3 - RULES FOR USE OF THE SI UNITS AND THEIR DECIMAL MULTIPLES AND SUB-MULTIPLES

**3.1** - In order to avoid errors in calculations it is essential to use coherent units. Therefore it is

strongly recommended that in calculations only SI units themselves should be used, and not their multiples and sub-multiples.

**3.2** - Only one prefix should be used in forming the decimal multiples or sub-multiples of a desired SI unit and this prefix should be attached to a unit in the numerator.

### 4 - NUMERICAL VALUES

The prefixes should preferably be chosen so that the resulting numerical values lie between 0.1 and 1000.

It might be desirable to depart from this rule in certain cases and use the same unit e. g. in a tabulation.

### 5 - LIST OF UNITS

The recommended units for use in Internal Combustion Engineering are included in this document (Tables 1 to 4).

#### 5.1 - Quantity (column 1)

The text describing these quantities follows ISO R 31 where applicable.

In all other cases the principles applied in ISO R 31 have been followed.

#### 5.2 - Symbol (column 2)

Where ISO symbols exist these have been utilised.

For units that have no ISO symbols CIMAC symbols have been added.

Formulae given in this column are valid for ISO units or ISO derived units only.

#### 5.3 - Limitations in use (column 3)

It is recommended that for certain units, and for a limited period, the units of a previously used system should be stated in parallel to the quantities in the SI system - this is shown with the symbol Δ.

Other limitations may be given in the text.

#### 5.4 - Unit (column 4)

The ISO SI units only are listed.

#### 5.5 - Remarks (column 5)

This column contains general remarks, general formulae and conversion factors from certain metric technical units commonly in use prior to the introduction of the SI system.

### 6 - FORMULAE

It is recommended that all mathematical signs and symbols should conform to ISO R 31, Part XI.

# RECOMMANDATIONS CIMAC POUR L'EMPLOI DES UNITÉS SI DANS LA TECHNIQUE DES MACHINES A COMBUSTION

## INTRODUCTION

### 1 - OBJET

La présente recommandation a pour objet de dresser la liste des symboles et unités SI qui doivent être utilisés dans la technique des machines à combustion interne. La recommandation et le choix des unités sont basées sur les recommandations ISO suivantes : R/1000/1969, R 31 (I<sup>re</sup>, II<sup>e</sup>, III<sup>e</sup>, IV<sup>e</sup> et XI<sup>e</sup> parties).

### 2 - GÉNÉRALITÉS

**2.1** - Le système SI est basé sur les unités fondamentales suivantes :

mètre (m), ampère (A), kilogramme (kg), kelvin (K), seconde (s), candela (cd).

**2.2** - L'attention des utilisateurs est attirée sur les noms et symboles spéciaux suivants attribués à certaines unités :

TABLEAU I

Grandeur	Nom de l'unité SI	Symboles	Équivalents
Fréquence . . .	hertz	Hz	1 Hz = 1 s <sup>-1</sup>
Force . . . . .	newton	N	1 N = 1 kg.m/s <sup>2</sup>
Travail, énergie, quantité de chaleur. . . . .	joule	J	1 J = 1 N.m
Puissance . . .	watt	W	1 W = 1 J/s

**2.3** - Les multiples et sous-multiples suivants sont recommandés :

TABLEAU II

Facteur	Préfixe	Symbole
10 <sup>12</sup>	téra	T
10 <sup>9</sup>	giga	G
10 <sup>6</sup>	méga	M
10 <sup>3</sup>	kilo	k
10 <sup>2</sup>	hecto	h
10	déca	da
10 <sup>-1</sup>	déci	d
10 <sup>-2</sup>	centi	c
10 <sup>-3</sup>	milli	m
10 <sup>-6</sup>	micro	μ
10 <sup>-9</sup>	nano	n
10 <sup>-12</sup>	pico	p
10 <sup>-15</sup>	femto	f
10 <sup>-18</sup>	atto	a

Le symbole d'un préfixe doit être combiné avec le symbole d'unité auquel il est directement attaché, formant ainsi avec lui un nouveau symbole d'unité qui peut être élevé à une puissance positive ou négative et qui peut être combiné avec d'autres symboles d'unités pour former des symboles d'unités composées.

Exemples :

$$1 \text{ mm}^3 = (10^{-3} \text{ m})^3 = 10^{-9} \text{ m}^3$$

$$1 \text{ } \mu\text{s}^{-1} = (10^{-6} \text{ s})^{-1} = 10^6 \text{ s}^{-1}$$

$$1 \text{ mm}^2/\text{s} = (10^{-3} \text{ m})^2/\text{s} = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

Les préfixes composés ne doivent pas être utilisés.

### 3 - RÈGLES D'EMPLOI DES UNITÉS SI ET DE LEURS MULTIPLES ET SOUS-MULTIPLES DÉCIMAUX

**3.1** - Afin d'éviter les erreurs de calcul, il est essentiel d'utiliser des unités cohérentes. Il est donc hautement

recommandé de n'utiliser dans les calculs que les unités SI elles-mêmes, à l'exclusion de leurs multiples et sous-multiples.

**3.2** - Un seul préfixe pourra être utilisé pour former les noms des multiples ou sous-multiples d'une unité SI désirée, et ce préfixe devra être attaché à l'unité qui se trouve au numérateur.

### 4 - VALEURS NUMÉRIQUES

Les préfixes devront de préférence être choisis de telle sorte que les valeurs numériques résultant de ce choix soient comprises entre 0,1 et 1 000.

Il peut être souhaitable de s'écarter de cette règle dans certains cas et d'utiliser une seule et même unité, par exemple dans un tableau.

### 5 - LISTE D'UNITÉS

Les unités recommandées pour être utilisées dans la technique des machines à combustion interne sont énumérées dans le présent document (tableaux 1 à 4).

#### 5.1 - Grandeurs (colonne 1)

Le texte décrivant ces grandeurs est conforme au document ISO R 31 quand cela est possible.

Dans tous les autres cas, les principes suivis pour la rédaction du document ISO R 31 ont été respectés.

#### 5.2 - Symboles (colonne 2)

Lorsqu'il existe des symboles ISO, ceux-ci sont utilisés. Dans le cas contraire, des symboles CIMAC ont été ajoutés.

Les formules indiquées dans cette colonne ne sont valables que pour les unités ISO et les unités dérivées des unités ISO.

#### 5.3 - Limitations d'emploi (colonne 3)

Pour certaines unités et pour une période limitée, il est recommandé d'indiquer, parallèlement aux unités du système SI, les unités d'un système utilisé antérieurement : ces dernières sont précédées du signe Λ.

D'autres limitations peuvent être signalées en clair.

#### 5.4 - Unités (colonne 4)

Seules sont indiquées dans cette colonne les unités du SI recommandées par l'ISO.

#### 5.5 - Remarques (colonne 5)

Cette colonne contient des observations générales, des formules générales et des facteurs de conversion pour certaines unités de mesures techniques en usage avant l'introduction du système SI.

### 6 - FORMULES

Il est recommandé de n'utiliser que les signes et symboles mathématiques conformes aux indications du document ISO R 31, XI<sup>e</sup> partie.

**TABLE 1**

**Basic Quantities and Units of the SI  
for use in Internal Combustion Engineering**

REF. ISO/R 31 - PART I

Quantity 1	Symbol 2	Limitations in Use 3	Unit 4	Remarks 5
Angle (plane angle) Right angle Degree	$\alpha, \beta, \gamma, \zeta, \Phi$ , etc.	Minutes and seconds not recommended; use decimal degrees	rad ..... $\sphericalangle$ ..... $^\circ$	$1 \sphericalangle = \pi/2 \text{ rad}$ $1^\circ = 1/90 \sphericalangle$
Length Breadth Height Thickness Radius Diameter Length of path	$l$ $b$ $h$ $d, \delta$ $r$ $d$ $s$	km $\wedge$ (n mile)	m	
Area	$A, (S)$		$\text{m}^2$	
Volume	$V, (v)$		$\text{m}^3$	l (litre)
Time	$t$	s $\wedge$ (min)	s	$1 \text{ d} = 24 \text{ h} = 86,400 \text{ s}$ $1 \text{ h} = 3,600 \text{ s}$
Angular Velocity	$\omega$		rad/s	
Angular acceleration	$d$		$\text{rad/s}^2$	
Velocity	$u, v, w, c$	km/h $\wedge$ (kn)	m/s	
Acceleration Acceleration of free fall	$a$ $g$		$\text{m/s}^2$	Standard acceleration of free fall : $g_n = 9.806 65 \approx 9.81 \text{ m/s}^2$

## Grandeurs et unités de base du SI à utiliser dans la technique des machines à combustion interne

RÉF. ISO/R 31 - PREMIÈRE PARTIE

Grandeur 1	Symbole 2	Limitations d'emploi 3	Unité 4	Observations 5
Angle (angle plan) Angle droit Degré	$\alpha, \beta, \gamma, \zeta, \Phi$ , etc.	Minutes et secondes non recommandées; utiliser les fractions décimales du degré	rad ... ° ... °	$1 \text{ rad} = \pi/2 \text{ rad}$ $1^\circ = 1/90 \text{ rad}$
Longueur Largeur Hauteur Épaisseur Rayon Diamètre Longueur curviligne	$l$ $b$ $h$ $d, \delta$ $r$ $d$ $s$	km $\wedge$ (mille marin)	m	
Aire, Superficie	$A, (S)$		$\text{m}^2$	
Volume	$V, (v)$		$\text{m}^3$	l (litre)
Temps	$t$	s $\wedge$ (min)	s	$1 \text{ j} = 24 \text{ h} = 86\,400 \text{ s}$ $1 \text{ h} = 3\,600 \text{ s}$
Vitesse angulaire	$\omega$		rad/s	
Accélération angulaire	$d$		rad/s <sup>2</sup>	
Vitesse	$u, v, w, c$	km/h $\wedge$ (nœud)	m/s	
Accélération Accélération due à la pesanteur	$a$ $g$		$\text{m/s}^2$	Valeur conventionnelle de l'accélération due à la pesanteur : $g_{n_2} = 9,806\,65 \approx 9,81 \text{ m/s}^2$

TABLE 2

**Quantities and Units of Periodic and Related Phenomena  
for Use in Internal Combustion Engineering**

REF. ISO/R 31 - PART II

Quantity 1	Symbol 2	Limitations in Use 3	Unit 4	Remarks 5
Periodic time	$T, (t)^+$		s	Time for one cycle
Time constant of an exponential varying quantity	$\tau, (T)$		s	Example : $F(t) = A + Be^{-t/\tau}$
Frequency Natural frequency Rotational frequency Rotational natural frequency	$f, v$ $f_n, v_n$ $n$ $n_n = \omega_n / (2\pi)$	$s^{-1} \wedge (min^{-1})$	Hz Hz $s^{-1}$ $s^{-1}$	1 Hz = 1 $s^{-1}$
Angular frequency Angular natural frequency	$\omega$ $\omega_n$		$s^{-1}$ $s^{-1}$	
10 log of the ratio of two powers (energies)	$10 \log (P_1/P_2)$		dB	Decibel
Sound power level Noise power level Sound pressure level	$L_P$ $L_{PA}$ $L_A$		dB dB <sub>A</sub> dB	
Damping coefficient	$\delta$		$s^{-1}$	$F(t) = Ae^{-\delta t} \cdot \sin \frac{2\pi(t-t_0)}{T}$
Logarithmic decrement	$\Lambda = T \cdot \delta$			See 2-9.1
Relative excitation frequency	$H$		Dimension- less	$H = T : [T/(h/b)]$ $T$ = time for period to be analysed $h$ = any positive whole number $b = 1$ for two stroke cycle $b = 2$ for four stroke cycle
Critical rotational frequency	$n_c = f_n/H$ $n_c = n_n/H$		$s^{-1}$ $s^{-1}$	
Harmonic excitation force Harmonic excitation torque	$F_h$ $T_h$		N N . m	
Translatory stiffness coefficient Torsional stiffness coefficient	$k, (k_t) = F/\Delta l$ $k, (k_t) = T/\Delta \alpha$		N/m N . m/rad	See 3-8.1 and 3-12.1
Translatory deflection coefficient Torsional deflection coefficient	$\lambda = \Delta l/F$ $\zeta = \Delta \alpha/T$		m/N rad/(N . m)	
Translatory damping force coeffi- cient Torsional damping force coefficient Critical translatory damping force coefficient Critical torsional damping force coef- ficient Relative damping coefficient	$C, (C_t) = F/u$ $C, (C_t) = T/\omega$ $C_c = 2 \cdot m \cdot \omega_n$ $C_c = 2 I \omega_n$ $\delta_r = C/C_c$		N . s/m N . m . s/rad N . s/m N . m . s/rad Dimension- less	See 3-8.1 and 3-12.1

## Grandeurs et unités des phénomènes périodiques et connexes à utiliser dans la technique des machines à combustion interne

RÉF. ISO/R 31 - DEUXIÈME PARTIE

Grandeur 1	Symbole 2	Limitations d'emploi 3	Unité 4	Observations 5
Période	$T, (t)^+$		s	Durée d'une période
Constante de temps d'une grandeur variant exponentiellement	$\tau, (T)$		s	Exemple : $F(t) = A + B e^{-t/\tau}$
Fréquence Fréquence naturelle Fréquence de rotation Fréquence naturelle de rotation	$f, v$ $f_n, v_n$ $n$ $n_n = \omega_n/2\pi$	$s^{-1} \wedge (\text{min}^{-1})$	Hz Hz $s^{-1}$ $s^{-1}$	1 Hz = 1 $s^{-1}$
Pulsation Pulsation naturelle	$\omega$ $\omega_n$		$s^{-1}$ $s^{-1}$	
10 fois le logarithme décimal (logarithme vulgaire) du rapport de deux puissances (ou de deux énergies)	$10 \log P_1/P_2$		dB	Décibel
Niveau de puissance acoustique Niveau de puissance de bruit Niveau de pression acoustique	$L_P$ $L_{PA}$ $L_A$		dB dB <sub>A</sub> dB	
Coefficient d'amortissement	$\delta$		$s^{-1}$	$F(t) = A e^{-\delta t} \cdot \sin \frac{2\pi(t - t_0)}{T}$
Décrément logarithmique	$\Lambda = T \cdot \delta$			Voir 2-9.1
Fréquence relative d'excitation	$H$		Sans dimension	$H = T : [T/(h/b)]$ où : $T$ = durée de la période à analyser $h$ = un nombre entier positif quelconque $b = 1$ pour un cycle à 2 temps $b = 2$ pour un cycle à 4 temps
Fréquence critique de rotation	$n_c = f_n/H$ $n_c = n_n/H$		$s^{-1}$ $s^{-1}$	
Force d'excitation harmonique Couple d'excitation harmonique	$F_h$ $T_h$		N N.m	
Coefficient de rigidité longitudinale Coefficient de rigidité de torsion	$k, (k_f) = F/\Delta l$ $k, (k_t) = T/\Delta \alpha$		N/m N.m/rad	Voir 3-8.1 et 3-12.1
Coefficient de flexion longitudinale Coefficient de flexion de torsion	$\lambda = \Delta l/F$ $\zeta = \Delta \alpha/T$		m/N rad/(N.m)	
Coefficient d'amortissement longitudinal Coefficient d'amortissement de torsion Coefficient d'amortissement longitudinal critique Coefficient d'amortissement de torsion critique Coefficient d'amortissement relatif	$C, (C_f) = F/u$ $C, (C_t) = T/\omega$ $C_c = 2 m \cdot \omega_n$ $C_c = 2 I \cdot \omega_n$ $\delta_r = C/C_c$		N.s/m N.m.s/rad N.s/m N.m.s/rad Sans dimension	Voir 3-8.1 et 3-12.1

**TABLE 3**

**Quantities and Units of Mechanics  
for Use in Internal Combustion Engineering**

REF. ISO/R 31 - PART III

Quantity 1	Symbol 2	Limitations in Use 3	Unit 4	Remarks 5
Mass	$m$	Mg $\wedge$ (t)	kg	1 t (tonne) = 1 Mg
Density	$c, \rho$		kg/m <sup>3</sup>	1 g/cm <sup>3</sup> = 1 Mg/m <sup>3</sup> = 1 kg/l
Specific volume	$v$		m <sup>3</sup> /kg	
Momentum	$p$		kg . m/s	
Moment of momentum Angular momentum	$b, p\theta, p\vartheta$		kg . m <sup>2</sup> /s	
Moment of inertia (dynamic moment of inertia)	$I, J$		kg . m <sup>2</sup>	
Force Weight	$F$ $G = m . g$ , where $g$ = local accelera- tion		N	1 kgf = 9.806 65 N $\approx$ 9.81 N
Moment of force Bending moment Torque, moment of a couple	$M$ $M$ $T$		N . m	
Pressure Firing (max) pressure Indicated Mean Effective Pressure Brake Mean Effective Pressure	$p$ $p_f$ $p_i$ $p_e$		N/m <sup>2</sup>	
Normal stress Shear stress	$\sigma$ $\tau$		N/m <sup>2</sup>	
Strength of materials			N/m <sup>2</sup>	MN/m <sup>2</sup>
Linear strain Shear strain Volume strain	$e, \varepsilon = \Delta l/l$ $\gamma$ $\theta, \vartheta = \Delta v/v$		Dimension- less	
Poisson's ratio	$\mu, \nu$		Dimension- less	
Young's modulus Shear modulus Bulk modulus	$E = \sigma/\varepsilon$ $G = \tau/\gamma$ $K = -p/\theta$		N/m <sup>2</sup>	
Compressibility	$\kappa, k = -dv/(v . dp)$		m <sup>2</sup> /N <sup>+</sup>	
Second moment of area Second polar moment of area	$I, I_a$ $I_p, J$		m <sup>4</sup>	
Section modulus	$Z, W, (I/v)$		m <sup>3</sup>	
Coefficient of friction	$\mu, (f)$		Dimension- less	
Dynamic viscosity	$\eta, (\mu)$		Ns/m <sup>2</sup>	1 P (Poise) = 10 <sup>-1</sup> Ns/m <sup>2</sup>
Kinematic viscosity	$\nu = \eta/\rho$		m <sup>2</sup> /s	1 cSt = 10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s
Energy Potential energy Kinetic energy Work Indicated work Work on shaft Electric work	$E, W$ $E_p, U, V, \Phi$ $E_k, K, T$ $A, W$ $W_i$ $W_s$ $W_{el}$	GJ $\wedge$ HP . h MJ $\wedge$ HP . h	J	1 J = 1 Nm = 1 W . s 1 kcal = 4.187 kJ 1 kW . h = 3.6 . 10 <sup>6</sup> J = 3.6 MJ 1 HP (Metric) h = 2.648 MJ
Power Indicated power Shaft power Electric power	$P$ $P_i$ $P_s$ $P_{el}$		W	1 HP (Metric) = 735.5 W 1 HP (British) = 745.7 W



## Grandeurs et unités de mécanique à utiliser dans la technique des machines à combustion interne

RÉF. ISO/R 31 - TROISIÈME PARTIE

Grandeur 1	Symbole 2	Limitations d'emploi 3	Unité 4	Observations 5
Masse	$m$	Mg $\wedge$ (t)	kg	1 t (tonne) = 1 Mg
Masse volumique	$c, \rho$		kg/m <sup>3</sup>	1 g/cm <sup>3</sup> = 1 Mg/m <sup>3</sup> = 1 kg/l
Volume spécifique	$v$		m <sup>3</sup> /kg	
Quantité de mouvement	$p$		kg . m/s	
Moment de quantité de mouvement, moment cinétique Moment angulaire	$b, p\theta, p\vartheta$		kg . m <sup>2</sup> /s	
Moment d'inertie (Moment d'inertie dynamique)	$I, J$		kg . m <sup>2</sup>	
Force Poids	$F$ $G = m . g$ , où $g$ est l'accélération locale de la pesanteur		N	1 kgf = 9,806 65 N $\approx$ 9,81 N
Moment d'une force Moment de flexion Moment d'un couple (torque)	$M$ $M$ $T$		N . m	
Pression Pression (maximale) d'allumage Pression moyenne efficace indiquée Pression moyenne efficace de freinage	$p$ $p_f$ $p_i$ $p_e$		N/m <sup>2</sup>	
Contrainte normale, tension normale Contrainte tangentielle, tension de cisaillement	$\sigma$ $\tau$		N/m <sup>2</sup>	
Résistance des matériaux			N/m <sup>2</sup>	MN/m <sup>2</sup>
Dilatation linéique relative Glissement unitaire Dilatation volumique relative	$e, \varepsilon = \Delta l/l$ $\gamma$ $\theta, \vartheta = \Delta v/v$		Sans dimension	
Coefficient de Poisson, nombre de Poisson	$\mu, \nu$		Sans dimension	
Module de Young Module d'élasticité de glissement, ou de Coulomb Module de compressibilité volumique sous pression hydrostatique	$E = \sigma/\varepsilon$ $G = \tau/\gamma$ $K = -p/\theta$		N/m <sup>2</sup>	
Coefficient de compressibilité	$\alpha, k = -dv/(v . dp)$		m <sup>2</sup> /N+	
Moment quadratique d'une aire plane Moment quadratique polaire d'une aire plane	$I, I_a$ $I_p, J$		m <sup>4</sup>	
Module d'inertie	$Z, W, (I/v)$		m <sup>3</sup>	
Coefficient de frottement	$\mu, (f)$		Sans dimension	
Viscosité dynamique	$\eta, (\mu)$		Ns/m <sup>2</sup>	1 P (poise) = 10 <sup>-1</sup> Ns/m <sup>2</sup>
Viscosité cinématique	$\nu = \eta/\rho$		m <sup>2</sup> /s	1 cSt (centistokes) = 10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s
Énergie Énergie potentielle Énergie cinétique Travail Travail indiqué Travail sur l'arbre Travail électrique	$E, W$ $E_p, U, V, \Phi$ $E_k, K, T$ $A, W$ $W_i$ $W_s$ $W_{el}$	GJ $\wedge$ HP . h MJ $\wedge$ HP . h	J	1 J = 1 Nm = 1 W . s 1 kcal = 4,187 kJ 1 kW . h = 3,6 . 10 <sup>6</sup> J = 3,6 MJ 1 cheval vapeur h = 2,648 MJ
Puissance Puissance indiquée Puissance sur l'arbre Puissance électrique	$P$ $P_i$ $P_s$ $P_{el}$		W	1 cheval vapeur = 735,5 W 1 HP (britannique) = 745,7 W

TABLE 4

## Quantities and Units of Heat for Use in Internal Combustion Engineering

REF. ISO/R 31 - PART IV

Quantity 1	Symbol 2	Limitations in Use 3	Unit 4	Remarks 5
Thermodynamic temperature, absolute temperature Temp interval	$T, \Theta$		$^{\circ}\text{K}$	
Customary temperature Ambient	$t, \theta, \vartheta$		$^{\circ}\text{C}$	$t_1 - 0 = T - T_0$ where : $T_0 = 273.15^{\circ}\text{K}$
Linear expansion coefficient Cubic expansion coefficient Pressure coefficient	$\alpha, \lambda = dl/(l \cdot dT)$ $\alpha, \beta, \gamma = dV/(V \cdot dT)$ $\beta = dp/(p \cdot dT)$	for gases only	$\text{K}^{-1}$	
Heat, quantity of heat	$Q$	$\text{J} \wedge \text{kcal}$	$\text{J}$	$1 \text{ kcal} = 4.187 \text{ kJ}$
Heat flow rate	$\Phi, (q)$	$\text{W} \wedge \text{kcal/h}$	$\text{W}$	$1 \text{ kcal/h} = 1.163 \text{ W}$
Density of heat flow rate	$q, (\varphi)$	$\text{W/m}^2 \wedge$ $\text{kcal} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$	$\text{W/m}^2$	$1 \text{ W/m}^2 = 1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ $1 \text{ kcal} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} = 1.163 \text{ W/m}^2$
Thermal conductivity	$\lambda, (k)$		$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	
Coefficient of heat transfer	$h, K, U, \alpha$		$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	
Thermal diffusivity	$a = \lambda/(\rho \cdot c_p)$		$\text{m}^2/\text{s}$	
Heat capacity	$C$		$\text{J}/\text{K}$	
Specific heat capacity Specific heat capacity at constant pressure Specific heat capacity at constant volume	$c$ $c_p$ $c_v$	$\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{deg})$ $\wedge$ $\text{kcal}/$ $(\text{kg} \cdot \text{deg})$	$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$	$1 \text{ kcal}/\text{kg} \cdot \text{K} = 4.187 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
Ratio of specific heat capacities	$\gamma, \kappa, k = c_p/c_v$		Dimension- less	
Entropy	$S$		$\text{J}/\text{K}$	
Specific entropy	$s$		$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$	
Internal energy Enthalpy	$U, (E)$ $H, (I)$		$\text{J}$	
Specific internal energy Specific enthalpy	$u, (e)$ $h, (i)$		$\text{J}/\text{kg}$	
Gross specific heat of combustion of fuel Nett specific heat of combustion of fuel	$h_g$ $h_n$	$\text{MJ}/\text{kg} \wedge$ $\text{kcal}/\text{kg}$	$\text{J}/\text{kg}$	$1 \text{ kcal}/\text{kg} = 4.187 \text{ kJ}/\text{kg}$ Nett specific heat of combustion of petro- leum oils $h_n \approx (0.72 h_g + 10) \text{ MJ}/\text{kg}$
Fuel flow rate	$B$		$\text{kg}/\text{s}$	
Heat flow rate	$\Phi = B \cdot h_g$		$\text{W}$	
Thermal efficiency	$\eta_t = P/\Phi$		Dimension- less	
Specific Fuel Consumption Specific Heat Consumption			$\text{kg}/\text{J}$ $\text{J}/\text{Ws}$	$1 \text{ g}/\text{kWh} = 278 \mu\text{g}/\text{J}$ $1 \text{ kcal}/\text{kWh}$ is a specific heat consumption of: $1.163 \cdot 10^{-3}$ $1 \text{ kcal}/\text{HP} \cdot \text{h}$ (metric) is a specific heat consumption of: $1.445 \cdot 10^{-3}$ $1 \text{ g}/\text{kWh}$ is a specific heat consumption of: $12.29 \cdot 10^{-3}$ based on the gross specific heat of combus- tion of a fuel of: $h_g = 44.25 \text{ MJ}/\text{kg}$

## Grandeurs et unités de chaleur à utiliser dans la technique des machines à combustion interne

RÉF. ISO/R 31 - QUATRIÈME PARTIE

Grandeur 1	Symbole 2	Limitations d'emploi 3	Unité 4	Observations 5
Température thermodynamique, température absolue, intervalle de température	$T, \Theta$		°K	
Température usuelle, température ambiante	$t, \theta, \vartheta$		°C	$t_1 - 0 = T - T_0$ avec : $T_0 = 273,15 \text{ °K}$
Coefficient de dilatation linéique Coefficient de dilatation volumique Coefficient d'augmentation de pres- sion	$\alpha, \lambda = dl/(l \cdot dT)$ $\alpha, \beta, \gamma = dV/(V \cdot dT)$ $\beta = dp/(p \cdot dT)$	pour les gaz seulement	K <sup>-1</sup>	
Chaleur, quantité de chaleur	$Q$	J $\wedge$ kcal	J	1 kcal = 4,187 kJ
Flux thermique	$\Phi, (q)$	W $\wedge$ kcal/h	W	1 kcal/h = 1,163 W
Densité de flux thermique	$q, (\varphi)$	W/m <sup>2</sup> $\wedge$ kcal . m <sup>-2</sup> . h <sup>-1</sup>	W/m <sup>2</sup>	1 W/m <sup>2</sup> = 1 J . m <sup>-2</sup> . s <sup>-1</sup> 1 kcal . m <sup>-2</sup> . h <sup>-1</sup> = 1,163 W/m <sup>2</sup>
Conductivité thermique	$\lambda, (k)$		W/(m . K)	
Coefficient de transmission ther- mique	$h, K, U, \alpha$		W/(m <sup>2</sup> . K)	
Diffusivité thermique	$a = \lambda/(p \cdot c_p)$		m <sup>2</sup> /s	
Capacité de chaleur	$C$		J/K	
Capacité thermique massique (chaleur massique) Chaleur massique à pression constan- te Chaleur massique à volume constant	$c$ $c_p$ $c_v$	kg/(kg . deg) $\wedge$ kcal/ (kg . deg)	J/(kg . K)	1 kcal/(kg . K) = 4,187 kJ/(kg . K)
Rapport des chaleurs spécifiques	$\gamma, \kappa, k = c_p/c_v$		Sans dimension	
Entropie	$S$		J/K	
Entropie massique	$s$		J/(kg . K)	
Énergie interne Enthalpie	$U, (E)$ $H, (I)$		J	
Énergie interne massique Enthalpie massique	$u, (e)$ $h, (i)$		J/kg	
Chaleur massique brute de combus- tion du combustible Chaleur massique nette de combus- tion du combustible	$h_g$ $h_n$	MJ/kg $\wedge$ kcal/kg	J/kg	1 kcal/kg = 4,187 kJ/kg Chaleur massique nette de combustion des huiles de pétrole : $h_n \approx (0,72 h_g + 10) \text{ MJ/kg}$
Débit du combustible	$B$		kg/s	
Flux thermique	$\Phi = B \cdot h_g$		W	
Rendement thermique	$\eta_t = P/\Phi$		Sans dimension	
Consommation spécifique de com- bustible Consommation spécifique de cha- leur			kg/J J/Ws	1 g/kWh = 278 $\mu\text{g}/\text{J}$ 1 kcal/kWh est une consommation spéci- fique de chaleur de : 1,163 . 10 <sup>-3</sup> 1 kcal/ch.h est une consommation spéci- fique de chaleur de : 1,445 . 10 <sup>-3</sup> Si l'on prend un combustible ayant une chaleur massique brute de combustion : $h_g = 44,25 \text{ MJ/kg}$ 1 g/kWh représente une consommation spécifique de chaleur de : 12,29 . 10 <sup>-3</sup>

**THE CIMAC CONSISTS** \* **LE CIMAC EST CONSTITUÉ**  
**OF THE FOLLOWING MEMBER ASSOCIATIONS** \* **PAR LES ASSOCIATIONS MEMBRES SUIVANTES**

AUSTRIA - AUTRICHE	FACHVERBAND DER MASCHINEN- UND STAHLBAUINDUSTRIE ÖSTERREICHS 1011 Wien 1 - Bauernmarkt 13
BELGIUM - BELGIQUE	FÉDÉRATION DES ENTREPRISES DE L'INDUSTRIE DES FABRICATIONS MÉTALLIQUES (FABRIMÉTAL) 21, rue des Drapiers - 1050 Bruxelles
DENMARK - DANEMARK	SAMMENSLUTNINGEN AF ARBEJDSGIVERE INDENFOR JERN- OG METALINDUSTRIEN I DENMARK Norrevoldgade 34 - 1358 København K
FINLAND - FINLANDE	SUOMEN METALLITEOLLISUUSYHDISTYS Eteläranta 10 - Helsinki 13
FRANCE - FRANCE	SYNDICAT DES CONSTRUCTEURS DE MOTEURS A COMBUSTION INTERNE 10, avenue Hoche - 75382 Paris Cedex 08
GERMANY - ALLEMAGNE	FACHGEMEINSCHAFT KRAFTMASCHINEN IM VDMA 6000 Frankfurt/Main - Niederrad 71 - Lyoner Strasse (Postfach 710109)
GREAT BRITAIN GRANDE-BRETAGNE	BRITISH INTERNAL COMBUSTION ENGINE MANUFACTURERS' ASSOCIATION Westmorland House - 127 Regent Street, London W1 R 7 HA
ITALY - ITALIE	ASSOCIAZIONE NAZIONALE INDUSTRIA MECCANICA VARIA ED AFFINE (ANIMA) Piazza Diaz 2 - 20123 Milano
JAPAN - JAPON	JAPAN INTERNAL COMBUSTION ENGINE FEDERATION c/o Land Internal Combustion Engine Manufacturers' Association No. 2, 1-chome, Ichigaya - Sadohara-cho, Shinjuku-ku, Tokyo 162
NETHERLANDS - PAYS-BAS	VERENIGING VOOR DE METAAL- EN DE ELEKTROTECHNISCHE INDUSTRIE FME GROEP FABRIEKEN VAN VERBRANDINGSMOTOREN Nassaulaan 25 - 'S-Gravenhage
NORWAY - NORVÈGE	I NORGES INDUSTRIFORBUND Drammensveien 40 (Postboks 2435) Solli - Oslo 2
SPAIN - ESPAGNE	SOCIEDAD DE TÉCNICOS DE AUTOMACIÓN (STA) Avda Generalísimo Franco, 999 - Barcelona 14
SWEDEN - SUÈDE	FÖRENINGEN SVENSKA TILLVERKARE AV FÖRBRÄNNINGSMASKINER Västerbergsgatan 3 - S 43139 Mölndal
SWITZERLAND - SUISSE	VEREIN SCHWEIZERISCHER MASCHINEN-INDUSTRIELLER 8032 Zürich - Kirchenweg 4
UNITED STATES - U. S. A.	AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS Diesel and Gas Engine Power Division - Gas Turbine Division - United Engineering Center 345 East 47th Street - New York N. Y. 10017

**GÉNÉRAL SECRETARIAT OF CIMAC • SECRÉTARIAT GÉNÉRAL DU CIMAC • 10 AVENUE HOCHÉ, PARIS (8<sup>e</sup>) - FRANCE**

*Le présent document a été étudié par le Groupe de Travail « Normes internationales » et sa publication approuvée par le Comité Permanent du 30 octobre 1973.*

*This document has been elaborated by the Working Group "International Standards" and approved by the Permanent Committee on 30th October 1973.*