

Norme française

NF Z 71-300

Indice de classement : Z 71-300

ICS :

T1 Interfaces utilisateurs

T2 Dispositions de clavier bureautique français

T3

E : User interfaces — French office keyboard layouts

D : Benutzungsschnittstellen — Französische Tastaturbelegungen

Norme française homologuée par décision du Directeur Général d'AFNOR.

Correspondance

[Le présent document reproduit (statut, indice:année) avec des modifications détaillées dans l'avant-propos national]

[Le présent document n'est pas équivalent (statut, indice:année) traitant du même sujet.]

[A la date de publication du présent document, il existe un projet de (filère) traitant du même sujet.]

[A la date de publication du présent document, il n'existe pas de travaux de normalisation internationaux ou européens traitant du même sujet.]

Résumé

Descripteurs

Thésaurus International Technique :

Modifications

Corrections

Composition de la commission de normalisation

Président : DR CHOUKRI

Secrétariat : M MAGNABOSCO - AFNOR

DR	BAILLY	UPMC - UNIV PARIS 6 PIERRE ET MARIE CURIE
M	BIGOT	ERGODIS
M	BUSEYNE	UNIVERSITE EVRY VAL D ESSONNE
M	CAZALIS	CHERRY SARL
M	CHENE	ORANGE
DR	CHOUKRI	ELDA
MME	DOUVILLE	AFNOR
M	GROUAS	DGLFLF
M	GROULT	ERGODIS
MME	GUILLET	INSPECTION GENERALE AFFAIRES CULTURELLES
M	MAGNABOSCO	AFNOR
MME	MAI	ORANGE
MME	MOREAU	NBN EXPERTS
M	NANCEL	INRIA
M	OBERLIS	MINISTERE DE LA CULTURE
M	REUSS	AFNOR

Sommaire

	Page
Introduction	5
1 Domaine d'application	7
2 Conformité	7
2.1 Conformité des pilotes et des claviers physiques	7
2.2 Conformité des pilotes de clavier	7
2.2.1 Conformité des claviers physiques	7
2.3 Déclaration de conformité	7
2.4 Présentation du pilote de clavier	7
3 Références normatives	8
4 Termes et définitions	8
5 Caractéristiques du clavier	8
5.1 Présentation physique du clavier	8
5.1.1 Agencement du clavier	8
5.1.2 Repères tactiles	8
5.2 Division physique du clavier en modules et zones	8
5.3 Division logique du clavier en groupes et niveaux	9
5.4 Fonctionnement des touches mortes	9
6 Prise en charge des caractères graphiques	9
6.1 Modalité de prise en charge	9
6.2 Liste des caractères graphiques pris en charge	10
6.2.1 Caractères de l'alphabet latin	10
6.2.2 Signes quasi-alphabétiques	11
6.2.3 Signes numériques et scientifiques	12
6.2.4 Lettres grecques	13
6.2.5 Signes typographiques	14
6.2.6 Symboles monétaires	16
6.3 Signes diacritiques et leurs combinaisons	16
6.3.1 Signes diacritiques pris en charge	16
6.3.2 Combinaison de diacritiques avec des lettres de l'alphabet latin	18
6.3.3 Combinaison de diacritiques avec d'autres signes	20
Annexe A (normative) Disposition de clavier de type AZERTY	21
A.1 Disposition des caractères graphiques	21
A.1.1 Présentation	21
A.1.2 Touches mortes	24
A.2 Gravure des caractères	26
Annexe B (normative) Disposition de clavier de type BÉPO	28
B.1 Disposition des caractères graphiques	28
B.1.1 Présentation	28
B.1.2 Touches mortes	32
B.2 Gravure	37
Annexe C (informative) Critères de choix des dispositions AZERTY et BÉPO pour les utilisateurs	38
C.1 Disposition AZERTY	38
C.2 Disposition BÉPO	38
Annexe D (informative) Recommandations pour la conception de dispositions de clavier personnalisées	39
Annexe E (informative) Élaboration de la disposition AZERTY modernisée	40

Annexe F (informative) Élaboration de la disposition BÉPO.....52
Annexe G (normative) Points de codage des lettres diacritées prises en charge54
Bibliographie57

Introduction

Le présent document définit la disposition du clavier informatique à 105 touches dans sa version bureautique et 72 touches dans sa version compacte. Il est particulièrement adapté à la saisie de la langue française dans un contexte multilingue où le recours à d'autres langues latines est fréquent.

Il met en œuvre, au niveau national, la série de normes internationales ISO/CEI 9995 relative à la disposition des claviers conçus pour la bureautique. Conçu pour les utilisateurs français, il pourrait néanmoins présenter un intérêt pour d'autres pays francophones.

Les travaux de normalisation à l'origine de ce document font suite à l'édition 2015 du rapport au Parlement sur l'emploi de la langue française¹ (Délégation générale à la langue française et aux langues de France, ministère de la Culture et de la Communication) puis d'une publication intitulée « Vers une norme française pour les claviers informatiques »² qui font état de la difficulté de saisir certains caractères courants en français tels que les capitales accentuées ou la ligature « œ ».

Le présent document est principalement destiné aux éditeurs de systèmes d'exploitation, responsables de la conception des pilotes de claviers, ainsi qu'aux fabricants de claviers et d'ordinateurs qui pourront trouver, en plus de la disposition normalisée des caractères du clavier, les règles de gravure permettant de matérialiser les caractères et symboles sur le clavier normalisé.

Les principaux objectifs qui ont concouru à la rédaction de ce document sont les suivants :

- homogénéiser le parc de claviers informatiques en France et notamment réduire les disparités dans la disposition des caractères entre différents fabricants de matériels et de systèmes d'exploitation ;
- améliorer l'ergonomie du clavier pour la saisie du français tout en s'inscrivant dans la continuité des dispositifs existants (dispositions de clavier dites « AZERTY », non normalisées, établies par l'usage), de façon à ne pas provoquer de difficultés d'appropriation de la nouvelle disposition par les utilisateurs ;
- permettre la saisie de l'ensemble des caractères des langues régionales de France dont la liste figure sur le site internet de la Délégation générale à la langue française et aux langues de France³ ;
- permettre la saisie de l'ensemble des caractères des langues à alphabet latin présentes sur le continent européen, avec comme priorité les caractères usuels des grandes langues de communication en Europe telles que l'allemand, l'espagnol ou le portugais ;
- rendre plus accessibles de nouveaux jeux de caractères et symboles pouvant être utiles lors de la rédaction de documents spécifiques ou techniques (lettres de l'alphabet grec, symboles mathématiques par exemple).

¹ <http://www.culturecommunication.gouv.fr/Politiques-ministerielles/Langue-francaise-et-langues-de-France/La-DGLFLF/Nos-priorites/Rapport-au-Parlement-sur-l-emploi-de-la-langue-francaise-2015>

² <http://www.culturecommunication.gouv.fr/Politiques-ministerielles/Langue-francaise-et-langues-de-France/Politiques-de-la-langue/Langues-et-numerique/Les-technologies-de-la-langue-et-la-normalisation/Vers-une-norme-francaise-pour-les-claviers-informatiques>

³ <http://www.culturecommunication.gouv.fr/Politiques-ministerielles/Langue-francaise-et-langues-de-France/Politiques-de-la-langue/Langues-de-France>

Le présent document définit deux types de dispositions de claviers aux attendus et bénéfiques différents :

- dans la disposition décrite à l'Annexe A, la disposition de clavier d'usage en France de type « AZERTY » a été légèrement remaniée tout en permettant d'assurer une rétrocompatibilité maximale avec les logiciels notamment pilotes de claviers déjà existants. Cette disposition de clavier a été conçue à partir de projections statistiques menés par l'université d'Aalto (Finlande) suivant plusieurs scénarios de départ, et à partir de données textuelles en français issues d'une part de l'encyclopédie en ligne Wikipédia et d'autre part de corpus de textes gracieusement fournis par ELDA (Association européenne des ressources linguistiques).
- Dans la disposition décrite à l'Annexe B, l'objectif a été de proposer une disposition la plus ergonomique et efficace possible pour la saisie du français et d'autres langues à alphabet latin, sans prendre en compte directement les besoins de compatibilité ou de similarité avec la disposition dite « AZERTY » d'usage. Cette disposition s'appuie sur le travail et les recherches de l'association Ergodis et de sa communauté d'utilisateurs, et plus précisément sur la disposition de clavier BÉPO conçue et élaborée par l'association.

Chaque utilisateur devrait ainsi pouvoir bénéficier de la possibilité de choisir la disposition qu'il souhaite en fonction de ses besoins et de son environnement de travail.

1 Domaine d'application

Le présent document fixe la disposition des claviers bureautiques (105 ou 72 touches) utilisés en France. Il précise la liste des caractères pris en charge, leur disposition sur le clavier, les règles de gravure. Il concerne donc tant la gravure des claviers physiques que les pilotes qui leurs sont associés.

Il concerne la disposition des touches de le module alphanumérique tel que défini par la Norme internationale ISO/IEC 9995-1. Il ne concerne pas les modules suivants :

- module numérique: une zone numérique ZN0 et une zone de fonctions ZN1;
- module d'édition et de fonctions: une zone de touches de curseur ZEF0, une zone d'édition et de fonctions ZEF1.

2 Conformité

2.1 Conformité des pilotes et des claviers physiques

2.2 Conformité des pilotes de clavier

Un pilote de clavier est conforme au présent document s'il répond aux prescriptions des sections 5, 6 et à l'une des Annexes normatives A ou B.

2.2.1 Conformité des claviers physiques

Un clavier physique est conforme au présent document s'il répond aux prescriptions des sections 5, 6 et à l'une des Annexes normatives A ou B.

2.3 Déclaration de conformité

Toute déclaration de conformité avec le présent document doit préciser comme suit la disposition retenue.

Tableau 1 — Déclaration de conformité

Option retenue	Formulation dans la déclaration de conformité
Conformité à l'Annexe A (disposition AZERTY)	NF Z 71-300 A
Conformité à l'Annexe B (disposition BÉPO)	NF Z 71-300 B

NOTE Les dispositions décrites aux Annexes normatives A et B présentent une prise en charge équivalente des besoins de saisie (couverture des caractères graphiques) et des principes analogue de présentation des possibilités de saisie (règles de gravure).

2.4 Présentation du pilote de clavier

Dans les interfaces de sélection de disposition de clavier, il est recommandé de présenter comme suit les pilotes appliquant le présent document.

Tableau 2 — Présentation du pilote de clavier

Option retenue	Présentation dans l'interface de sélection
Conformité à l'annexe A (disposition AZERTY)	Français normalisé (AZERTY)
Conformité à l'annexe B (disposition BÉPO)	Français normalisé (BÉPO)

NOTE En fonction du contexte dans lequel le pilote de clavier est présenté, les termes « clavier », « disposition » ou analogues pourront être employés.

EXEMPLE 1 « Clavier français normalisé (BÉPO) »

EXEMPLE 2 « Disposition française normalisée (AZERTY) »

3 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

ISO/IEC 9995-1, *Technologies de l'information — Disposition des claviers conçus pour la bureautique — Partie 1 : Principes généraux pour la disposition des claviers*

ISO/IEC 9995-2, *Technologies de l'information — Disposition des claviers conçus pour la bureautique — Partie 2 : Module alphanumérique*

ISO/IEC 9995-11, *Technologies de l'information — Dispositions de claviers bureautiques — Partie 11 : Fonctionnalité des touches mortes et répertoires de caractères entrés par touches mortes*

ISO/IEC 10646, *Technologies de l'information — Jeu universel de caractères codés (JUC)*

4 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans ISO/IEC 9995-1, ISO/IEC 9995-11 s'appliquent.

5 Caractéristiques du clavier

5.1 Présentation physique du clavier

5.1.1 Agencement du clavier

Les dispositions de clavier décrites aux Annexes A et B du présent document sont conçues pour l'agencement usuel des claviers bureautiques, qui est décrit par les Normes internationales ISO/IEC 9995-1 (agencement général du clavier) et ISO/IEC 9995-2 (agencement du module alphanumérique).

Elles peuvent néanmoins être appliquées à des agencements différents. En pareil cas, les adaptations éventuelles des dispositions de clavier des Annexes A et B ne doivent être apportées que dans la mesure où l'agencement du clavier le justifie. Ces modifications doivent rester mineures (déplacement d'une à deux touches alphanumériques).

5.1.2 Repères tactiles

Un repère tactile doit être présent sur les touches suivantes du module alphanumérique :

Tableau 3 — Repères tactiles du clavier (module alphanumérique)

	Marquage dans la disposition AZERTY (Annexe A)	Marquage dans la disposition BÉPO (Annexe B)
C04	F	E
C07	J	T

NOTE En-dehors du module alphanumérique, le module numérique (pavé numérique) des claviers qui en sont pourvus est également marqué d'un repère tactile sur la touche marquée « 5 ».

5.2 Division physique du clavier en modules et zones

ISO/IEC 9995-1 introduit le concept de modules et de zones. Le présent document concerne la disposition des touches du module alphanumérique.

5.3 Division logique du clavier en groupes et niveaux

Conformément à ISO/IEC 9995-1, les caractères graphiques ou les fonctions de commande auxquels une touche permet d'accéder sont logiquement divisés en groupes et niveaux. Le présent document définit 2 niveaux et 2 groupes.

Deux types de mécanismes sont reconnus dans le cas présent :

- la sélection de groupe ;
- la sélection de niveau.

Les deux fonctions peuvent s'appliquer simultanément. Le groupe est hiérarchiquement supérieur au niveau.

La fonction de sélection de niveau 2 (ancien niveau « majuscule ») permet d'accéder au niveau 2 pour les deux groupes définis. Une touche dédiée (marquée fréquemment comme « AltGr ») permet à l'utilisateur de choisir le groupe 2, le groupe 1 étant choisi implicitement par défaut.

Tableau 4 — Division logique en groupes et niveaux

Sélection de groupe	Sélection de niveau	Groupe et niveau actifs
Aucune (groupe 1 implicite)	Aucune (niveau 1 implicite)	Groupe 1, niveau 1
	Niveau 2	Groupe 1, niveau 2
Groupe 2	Aucune (niveau 1 implicite)	Groupe 2, niveau 1
	Niveau 2	Groupe 2, niveau 2

Les concepts de sélection de groupe et de niveau peuvent s'appliquer aux modules du clavier autres que le module alphanumérique.

5.4 Fonctionnement des touches mortes

La saisie d'un caractère peut dépendre de frappe d'une touche morte.

Le fonctionnement des touches mortes tel que décrit dans la Norme internationale ISO/IEC 9995-11, paragraphe 5.1, s'applique.

NOTE Le comportement adopté en cas de frappes successives de touches mortes peut être défini dans les annexes du présent document.

6 Prise en charge des caractères graphiques

6.1 Modalité de prise en charge

Le clavier doit permettre la saisie des caractères listés ci-après, c'est-à-dire que le pilote de clavier doit permettre leur saisie sans dispositif logiciel tiers et sans saisie manuelle du code numérique d'un caractère.

NOTE 1 Les dispositifs logiciels tiers incluent les assistances à la saisie ou suggestions de saisie basées sur les frappes précédentes, les logiciels de correction automatique.

NOTE 2 La saisie d'un signe par l'entrée de son code numérique, qui doit être appris par cœur et interrompt le flux de la saisie dactylographique, est considéré comme un palliatif et non comme une prise en charge authentique du caractère par le clavier.

6.2 Liste des caractères graphiques pris en charge

Les caractères graphiques ci-après doivent être pris en charge par le pilote de clavier.

NOTE Le pilote de clavier peut prendre en charge des caractères graphiques ne figurant pas dans les listes ci-après, sans que cela soit exigible pour la conformité au présent document.

6.2.1 Caractères de l'alphabet latin

Toutes les lettres de bases de l'alphabet latin (de A à Z) doivent être prise en charge, de même que les lettres de l'alphabet étendu suivantes : Æ, Œ, ß, Ð, Ð, Ñ, Ï, Ò, Ñ. Les capitales et minuscules de chacune des lettres précédemment citée doivent être prises en charge, y compris pour le ß.

Le *i* (lettre minuscule i sans point) et le *Í* (lettre majuscule i avec point) sont prises en charge.

NOTE Selon l'usage du français et de la plupart des langues latines, reflété dans la Norme internationale ISO/IEC 10646, la lettre *i* comporte un point en minuscule et n'en comporte pas en capitale. Néanmoins, dans les langues où elles sont en usage, la lettre majuscule *Í* jouent le rôle de capitale de la lettre minuscule *i* tandis que la lettre minuscule *i* joue le rôle de minuscule de la lettre capitale *I*. La modalité de prise en charge des lettres *i* et *Í* est décrite dans les Annexes A et B.

La lettre *f* (s long), qui n'existe pas en capitale, est également prise en charge.

NOTE La lettre latine θ (théta latin) utilisée dans certaines langues n'est pas prise en charge dans le présent document en tant qu'elle n'est pas présente dans la Norme internationale ISO/IEC 10646. L'utilisateur peut utiliser à la place la lettre grecque correspondante.

Tableau 5 — Lettres latines prises en charge (1 sur 2)

Code ISO/IEC 10646	Glyphe	Nom	Code ISO/IEC 10646	Glyphe	Nom
U+0041	A	Lettre majuscule latine A	U+0061	a	Lettre minuscule latine A
U+0042	B	Lettre majuscule latine B	U+0062	b	Lettre minuscule latine B
U+0043	C	Lettre majuscule latine C	U+0063	c	Lettre minuscule latine C
U+0044	D	Lettre majuscule latine D	U+0064	d	Lettre minuscule latine D
U+0045	E	Lettre majuscule latine E	U+0065	e	Lettre minuscule latine E
U+0046	F	Lettre majuscule latine F	U+0066	f	Lettre minuscule latine F
U+0047	G	Lettre majuscule latine G	U+0067	g	Lettre minuscule latine G
U+0048	H	Lettre majuscule latine H	U+0068	h	Lettre minuscule latine H
U+0049	I	Lettre majuscule latine I	U+0069	i	Lettre minuscule latine I
U+004A	J	Lettre majuscule latine J	U+006A	j	Lettre minuscule latine J
U+004B	K	Lettre majuscule latine K	U+006B	k	Lettre minuscule latine K
U+004C	L	Lettre majuscule latine L	U+006C	l	Lettre minuscule latine L
U+004D	M	Lettre majuscule latine M	U+006D	m	Lettre minuscule latine M
U+004E	N	Lettre majuscule latine N	U+006E	n	Lettre minuscule latine N
U+004F	O	Lettre majuscule latine O	U+006F	o	Lettre minuscule latine O
U+0050	P	Lettre majuscule latine P	U+0070	p	Lettre minuscule latine P
U+0051	Q	Lettre majuscule latine Q	U+0071	q	Lettre minuscule latine Q
U+0052	R	Lettre majuscule latine R	U+0072	r	Lettre minuscule latine R
U+0053	S	Lettre majuscule latine S	U+0073	s	Lettre minuscule latine S
U+0054	T	Lettre majuscule latine T	U+0074	t	Lettre minuscule latine T
U+0055	U	Lettre majuscule latine U	U+0075	u	Lettre minuscule latine U
U+0056	V	Lettre majuscule latine V	U+0076	v	Lettre minuscule latine V
U+0057	W	Lettre majuscule latine W	U+0077	w	Lettre minuscule latine W
U+0058	X	Lettre majuscule latine X	U+0078	x	Lettre minuscule latine X

Tableau 5 — Lettres latines prises en charge (2 sur 2)

Code ISO/IEC 10646	Glyphe	Nom	Code ISO/IEC 10646	Glyphe	Nom
U+0059	Ÿ	Lettre majuscule latine Y	U+0079	y	Lettre minuscule latine Y
U+005A	Z	Lettre majuscule latine Z	U+007A	z	Lettre minuscule latine Z
U+00C6	Æ	lettre majuscule latine AE	U+00E6	æ	lettre minuscule latine AE
U+0152	Œ	digramme soudé majuscule latin OE	U+0153	œ	digramme soudé minuscule latin OE
U+1E9E	ß	lettre majuscule latine S dur	U+00DF	ß	lettre minuscule latine S dur
U+00DE	Þ	lettre majuscule latine THORN	U+00F0	þ	Lettre minuscule latine THORN
U+00D0	Ð	lettre majuscule latine ED	U+00F0	ð	lettre minuscule latine ED
U+014A	Ŋ	lettre majuscule latine ENG	U+014B	ŋ	lettre minuscule latine ENG
U+0132	IJ	digramme soudé majuscule latin IJ	U+0133	ij	digramme soudé minuscule latin IJ
U+01B7	Ʒ	lettre majuscule latine EJ	U+0292	Ʒ	lettre minuscule latine EJ
			U+017F	f	lettre minuscule latine S long

NOTE Ce tableau ne présente pas les lettres pourvues de diacritiques qui sont décrites ci-après.

6.2.2 Signes quasi-alphabétiques

Les caractères suivants dont l'usage est plus spécifique doivent également être pris en charge :

Tableau 6 — Signes quasi-alphabétiques

Code ISO/IEC 10646	Glyphe	Nom
U+0026	&	Perluète
U+00A9	©	Symbole copyright
U+00AE	®	Symbole marque déposée
U+2122	™	Symbole anglais marque de commerce
U+00AA	ª	Indicateur ordinal féminin
U+00BA	º	Indicateur ordinal masculin

NOTE ISO/IEC 10646 ne contient pas toutes les lettres latines en exposant permettant de saisir les abréviations d'ordinaux en français.

6.2.3 Signes numériques et scientifiques

Les chiffres et les principaux symboles nécessaires à un usage mathématique, scientifique ou technique doivent être pris en charge.

Tableau 7 — Chiffres et symboles à prendre en charge

Code Unicode	Glyphes	Nom	Exposants			Indices		
			Code Unicode	Glyphes	Nom	Code Unicode	Glyphes	Nom
U+0030	0	Chiffre zéro	U+2070	⁰	Exposant zéro	U+2080	₀	Indice zéro
U+0031	1	Chiffre un	U+00B9	¹	Exposant un	U+2081	₁	Indice un
U+0032	2	Chiffre deux	U+00B2	²	Exposant deux	U+2082	₂	Indice deux
U+0033	3	Chiffre trois	U+00B3	³	Exposant trois	U+2083	₃	Indice trois
U+0034	4	Chiffre quatre	U+2074	⁴	Exposant quatre	U+2084	₄	Indice quatre
U+0035	5	Chiffre cinq	U+2075	⁵	Exposant cinq	U+2085	₅	Indice cinq
U+0036	6	Chiffre six	U+2076	⁶	Exposant six	U+2086	₆	Indice six
U+0037	7	Chiffre sept	U+2077	⁷	Exposant sept	U+2087	₇	Indice sept
U+0038	8	Chiffre huit	U+2078	⁸	Exposant huit	U+2088	₈	Indice huit
U+0039	9	Chiffre neuf	U+2079	⁹	Exposant neuf	U+2089	₉	Indice neuf

Tableau 8 — Symboles

Code Unicode	Glyphes	Nom
U+0023	#	Croisillon
U+0025	%	Symbole pourcent
U+002B	+	Signe plus
U+002F	/	Barre oblique
U+003C	<	Signe inférieur à
U+003D	=	Signe égal à
U+003E	>	Signe supérieur à
U+0040	@	Arrobe
U+005C	\	Barre oblique inversée
U+005E	^	Accent circonflexe
U+005F	_	Tiret bas
U+007C	|	Barre verticale
U+007E	~	Tilde
U+00B0	°	Symbole degré
U+00B1	±	Signe plus-ou-moins
U+00BC	¼	Fraction un quart
U+00BD	½	Fraction un demi
U+00BE	¾	Fraction trois quart
U+00D7	×	Signe Multiplication
U+00F7	÷	Signe division
U+2030	‰	Symbole pour mille
U+2A7D	≤	Plus petit ou égal à incliné
U+2A7E	≥	Supérieur à ou égal à incliné
U+2260	≠	Pas égal à
U+2244	≉	Non asymptotiquement égal à
U+221A	√	Racine carrée
U+221E	∞	Infini
U+00B5	μ	Symbole micro

6.2.4 Lettres grecques

Les lettres de l'alphabet grec sont nécessaires pour de nombreux textes professionnels et scientifiques faisant appel à des représentations de type mathématique ou chimique. Aussi toutes ces lettres, majuscules et minuscules, sont-elles prises en charge.

NOTE 1 La prise en charge minimale décrite ici n'a pas pour objectif la saisie de textes orthographiquement ni typographiquement corrects en langue grecque (ancienne ou moderne).

NOTE 2 Les correspondances du Tableau 9 entre les lettres grecques et latines sont conformes à la norme internationale ISO/IEC 9995-9, mais ne reprennent pas l'intégralité de son Annexe B, paragraphe B.6.

Tableau 9 — Lettres grecques (1 sur 2)

Symbole gravé	Groupe 1	
	Niveau 1	Niveau 2
A	Lettre minuscule grecque alpha U+03B1 α	Lettre majuscule grecque alpha U+0391 Α
B	Lettre minuscule grecque bêta U+03B2 β	Lettre majuscule grecque bêta U+0392 Β
G	Lettre minuscule grecque gamma U+03B3 γ	Lettre majuscule grecque gamma U+0393 Γ
D	Lettre minuscule grecque delta U+03B4 δ	Lettre majuscule grecque delta U+0394 Δ
E	Lettre minuscule grecque epsilon U+03B5 ε	Lettre majuscule grecque epsilon U+0395 Ε
Z	Lettre minuscule grecque dzêta U+03B6 ζ	Lettre majuscule grecque dzêta U+0396 Ζ
H	Lettre minuscule grecque êta U+03B7 η	Lettre majuscule grecque êta U+0397 Η
U	Lettre minuscule grecque thêta U+03B8 θ	Lettre majuscule grecque thêta U+0398 Θ
I	Lettre minuscule grecque iota U+03B9 ι	Lettre majuscule grecque iota U+0399 Ι
K	Lettre minuscule grecque kappa U+03BA κ	Lettre majuscule grecque kappa U+039A Κ
L	Lettre minuscule grecque lambda U+03BB λ	Lettre majuscule grecque lambda U+039B Λ
M	Lettre minuscule grecque mu U+03BC μ	Lettre majuscule grecque mu U+039C Μ
N	Lettre minuscule grecque nu U+03BD ν	Lettre majuscule grecque nu U+039D Ν
J	Lettre minuscule grecque xi U+03BE ξ	Lettre majuscule grecque xi U+039E Ξ
O	Lettre minuscule grecque omicron U+03BF ο	Lettre majuscule grecque omicron U+039F Ο
P	Lettre minuscule grecque pi U+03C0 π	Lettre majuscule grecque pi U+03A0 Π
R	Lettre minuscule grecque rhô U+03C1 ρ	Lettre majuscule grecque rhô U+03A1 Ρ
S	Lettre minuscule grecque sigma U+03C3 σ	Lettre majuscule grecque sigma U+03A3 Σ
W	Lettre minuscule grecque sigma final U+03C2 ς	

Tableau 9 — Lettres grecques (2 sur 2)

Symbole gravé	Groupe 1	
	Niveau 1	Niveau 2
T	Lettre minuscule grecque tau U+03C4 τ	Lettre majuscule grecque tau U+03A4 Τ
Υ	Lettre minuscule grecque upsilon U+03C5 υ	Lettre majuscule grecque upsilon U+03A5 Υ
F	Lettre minuscule grecque phi U+03C6 φ	Lettre majuscule grecque phi U+03A6 Φ
X	Lettre minuscule grecque khi U+03C7 χ	Lettre majuscule grecque khi U+03A7 Χ
C	Lettre minuscule grecque psi U+03C8 ψ	Lettre majuscule grecque psi U+03A8 Ψ
V	Lettre minuscule grecque oméga U+03C9 ω	Lettre majuscule grecque oméga U+03A9 Ω

6.2.5 Signes typographiques

Les signes typographiques ci-dessous nécessaires à un usage littéraire ou scientifique doivent être pris en charge.

Tableau 10 — Signes typographiques simples

Code Unicode	Glyphe	Nom ISO/IEC 10646
U+0021	!	Point d'exclamation
U+0022	"	Guillemet anglais
U+0027	'	Apostrophe
U+002A	*	Astérisque
U+002C	,	Virgule
U+002D	-	Trait d'union-Signe moins
U+002E	.	Point
U+003A	:	Deux-points
U+003B	;	point-virgule
U+003F	?	Point d'interrogation
U+00A1	¡	Point d'exclamation renversé
U+00A7	§	Symbole paragraphe
U+00AD		trait d'union conditionnel
U+00B7	·	Point médian
U+00BF	¿	Point d'interrogation renversé
U+2011	-	Trait d'union insécable
U+2013	–	Tiret demi-cadratin
U+2014	—	Tiret cadratin
U+2019	'	Guillemet-apostrophe
U+2020	†	Obèle
U+2021	‡	Double obèle
U+2026	...	Points de suspension

Tableau 11 — Signes typographiques ouvrants et fermants

Code Unicode	Glyphe	Nom ISO/IEC 10646
U+0028	(	Parenthèse gauche
U+0029	)	Parenthèse droite
U+005B	[	Crochet gauche
U+005D	]	Crochet droit
U+007B	{	Accolade gauche
U+007D	}	Accolade droite
U+00AB	«	Guillemet gauche
U+00BB	»	Guillemet droit
U+2039	‹	Guillemet simple vers la gauche
U+203A	›	Guillemet simple vers la droite
U+201A	,	Guillemet-virgule inférieur
U+201B	‘	Guillemet-virgule supérieur culbuté
U+201C	“	Guillemet-apostrophe double culbuté
U+201D	”	Guillemet-apostrophe double
U+201E	„	Guillemet-virgule double inférieur
U+201F	“	Guillemet-virgule double supérieur culbuté

Tableau 12 — Espaces typographiques

Code Unicode	Nom ISO/IEC 10646	Description
U+0020	Espace	Espace classique séparant deux mots
U+00A0	Espace insécable	Espace séparant deux mots et ne permettant pas le retour à la ligne
U+202F	Espace insécable étroite	Espace utilisée avant les ponctuations doubles
U+2003	Espace cadratin	Espace longue utilisée en typographie anglaise ou, dans le corps d'un paragraphe, devant une abréviation composée d'une lettre suivie d'un point (par exemple M.)

6.2.6 Symboles monétaires

Les symboles monétaires ci-dessous doivent être pris en charge.

Tableau 13 — Symboles monétaires

Symbole gravé	Groupe 1 Prise en charge obligatoire		Groupe 2 Prise en charge obligatoire		Groupe 1 Prise en charge recommandée	
	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 1	Niveau 2
B		U+0E3F ₿			<i>Symbole Bitcoin</i>	
P	U+20B1 ₱	U+20A7 ₪	U+20B0 ⸏			
D	U+20AB ₠	U+20AF ₡				
L	U+20BA ₺	U+20A4 £	U+20BE ₴			
W	U+20A9 ₩					
A		U+20B3 ₺				
E	U+20A0 €			U+00A4 ¤		
C	U+20A2 ¢	U+20A1 ¢	U+20A2 €			
T	U+20B8 ₮	U+20AE ₣				
S	U+20AA ₯					U+20B7 ₱
R	U+20BD ₱	U+20B9 ₹	U+20A8 ₹			
N	U+20B6 ₱					
M	U+20A5 ₮	U+2133 ₮	U+20BC ₮			
Ç	U+20B5 ¢					
Y	U+00A5 ¥					
K	U+20AD ₮					
G	U+20B2 ¢					
H	U+20B4 ¢					
F	U+0192 f	U+20A3 ₣				

NOTE Le symbole Bitcoin n'est pas encore pris en charge par ISO/IEC 10646.

6.3 Signes diacritiques et leurs combinaisons

6.3.1 Signes diacritiques pris en charge

Les signes diacritiques produisant des caractères pris en charge par le clavier sont les suivants :

- accent grave `
- accent aigu ´
- accent circonflexe ^
- tilde ~
- macron ¯

- brève ˘
- point en chef ˙
- tréma ˆ
- rond en chef ˚
- double aigu ˚
- caron⁴ ̣
- virgule souscrite² ˘
- cédille ˘
- ogonek ˙
- barre couvrante ̄
- barre oblique couvrante ̅

Les diacritiques suivants d'usage plus restreint, dans des ouvrages de références ou en romanisation, doivent également être pris en charge, mais il est admis qu'ils bénéficient d'une accessibilité moindre :

- accent double grave ˘˘
- brève inversée ˘
- point souscrit ˘
- macron souscrit ˘

NOTE 1 Le principe général de la présente norme prévoit que le clavier doit prendre en charge tout caractère diacrité reconnu par ISO/IEC 10646, dès lors que le caractère de base et le diacritique dont il est composé sont l'un et l'autre pris en charge par le clavier, le diacritique étant saisi par une touche morte. Ceci s'applique aussi aux formes précomposées d'une lettre et de plusieurs diacritiques listées par ISO/IEC 10646.

NOTE 2 Le moyen de saisir les diacritiques est décrit dans les Annexes A et B. La présente clause ne préjuge pas en particulier de ce que tel ou tel diacritique soit réalisé par pression simple d'une touche, par utilisation d'une touche morte, ni que des diacritiques différents soit réalisés par des touches mortes différentes.

EXEMPLE Si un clavier peut produire le Ç sans utilisation d'une touche morte, il est recommandé que ce clavier puisse également produire Ç par la frappe successive de la touche morte « cédille » et « Ç ».

NOTE 3 La virgule souscrite et la cédille peuvent parfois être confondues visuellement selon la police de caractère. Les deux diacritiques étant retenus, la méthode de saisie n'introduit pas de motifs de confusion supplémentaire.

⁴ Le caron prend habituellement la forme d'un accent circonflexe inversé. Toutefois pour les caractères ayant une hampe (tel que la lettre minuscule t) il peut prendre la forme d'une apostrophe. Cette variation est purement graphique et ne dépend pas de la saisie.

Certaines combinaisons de diacritique et de lettre n'existent pas sous forme précomposée dans la norme ISO/IEC 10646 bien que l'usage, quoique rare, existe. La norme ISO/IEC 10646 prend en charge ces cas par l'utilisation de diacritiques dits combinants. La prise en charge de ces diacritiques combinants est recommandée.

Pour les lettres diacritées prises en charge sans utilisation d'une touche morte, il est recommandé que la combinaison de cette lettre diacritée avec un deuxième diacritique soit également prise en charge, si le résultat de cette combinaison existe aussi sous forme précomposée dans la norme ISO/IEC 10646.

EXEMPLE Si un clavier peut produire le ç sans utilisation d'une touche morte, il est recommandé que ce clavier puisse également produire ç par la frappe successive de la touche morte [accent aigu] et ç.

Pour les autres cas de lettres ayant plusieurs diacritiques, sachant qu'elles sont nécessaires pour la prise en charge de certaines langues, il est recommandé de les prendre en charge selon des modalités définies dans les annexes du présent document.

6.3.2 Combinaison de diacritiques avec des lettres de l'alphabet latin

Les combinaisons avec les diacritiques sont présentées dans les tableaux ci-dessous. Les points de codage correspondants sont présentés à l'Annexe F.

Tableau 14 — Caractères composés avec diacritique

	grave	aigu	circonflexe	tilde	macron	brève	point en chef	tréma	rond en chef	double aigu	caron	virgule souscrite	cédille	ogonek	barre couvrante	oblique couvrante	double grave	brève renversée	point souscrit	macron souscrit	
A, a	À, à	Á, á	Â, â	Ã, ã	Ā, ā	Ǻ, ǻ	Ą, ą	Ă, ă	Å, å		Ǽ, ǽ			Ą, ą	Ȧ, ȧ	À, à	Â, â	Ȧ, ȧ			
B, b							Ĕ, ĕ								B, b				Ȧ, ȧ	Ȧ, ȧ	
C, c		Ć, ć	Ĉ, ĉ				Č, č						Ç, ç			Ȣ, ȣ					
D, d							Ď, ě						Đ, đ		Ð, ð					Ȧ, ȧ	Ȧ, ȧ
E, e	È, è	É, é	Ê, ê	Ë, ë	Ē, ē	Ǻ, ǻ	Ě, ě	Ĕ, ĕ					Ě, ě	Ę, ę		Ȣ, ȣ	Ĕ, ĕ	Ê, ê		Ȧ, ȧ	
F, f							Ħ, ħ														
G, g		Ĝ, ĝ	Ĝ, ĝ		Ĝ, ĝ	Ǻ, ǻ	Ĝ, ĝ						Ĝ, ĝ		G, g						
H, h			Ĥ, ĥ				H, h	Ĥ, ĥ					H, h		H, h					H, h	h
I, i	Ì, ì	Í, í	Î, î	Ï, ï	Ī, ī	Ǻ, ǻ	Ĭ, ĭ	Ĭ, ĭ					Ĭ, ĭ	Į, į	İ, ı		Ï, ï	Î, î		İ, ı	
J, j			Ĵ, ĵ										Ĵ, ĵ		Ȥ, ȥ						
K, k		Ķ, ķ									Ķ, ķ		Ķ, ķ							K, k	Ķ, ķ
L, l		Ĺ, ĺ					Ł, ł				Ł, ł		Ł, ł		L, l	Ł, ł				Ł, ł	Ł, ł
M, m		Ź, ź					Ź, ź						Ź, ź							Ź, ź	Ź, ź
N, n	Ñ, ñ	Ń, ń		Ń, ń			Ń, ń						Ń, ń						Ń, ń	Ń, ń	Ń, ń
O, o	Ò, ò	Ó, ó	Ô, ô	Õ, õ	Ȫ, ȫ	Ǻ, ǻ	Ȫ, ȫ	Ȫ, ȫ					Ȫ, ȫ		Ȫ, ȫ	Ȫ, ȫ	Ȫ, ȫ	Ȫ, ȫ		Ȫ, ȫ	Ȫ, ȫ
P, p		Ǽ, ǽ					Ǽ, ǽ						Ǽ, ǽ								
R, r		Ŕ, ŕ					Ŕ, ŕ						Ŕ, ŕ		R, r				Ŕ, ŕ	Ŕ, ŕ	Ŕ, ŕ
S, s		Ś, ś	Ŝ, ŝ				Ś, ś						Ś, ś	Ș, ș	Ș, ș					Ș, ș	Ș, ș
T, t							Ț, ț	ț					Ț, ț	Ț, ț	Ț, ț	Ț, ț	Ț, ț			Ț, ț	Ț, ț
U, u	Û, û	Ú, ú	Û, û	Ū, ū	Ū, ū	Ǻ, ǻ	Ū, ū	Ū, ū	Ū, ū	Ū, ū			Ū, ū	Ū, ū	Ū, ū		Ū, ū	Ū, ū		Ū, ū	Ū, ū
V, v				Ŵ, ŵ																Ŵ, ŵ	Ŵ, ŵ
W, w	Ẁ, ẁ	Ẃ, ẃ	Ẅ, ẅ				Ẃ, ẃ	Ẃ, ẃ	Ẃ, ẃ											Ẃ, ẃ	Ẃ, ẃ
X, x							Ẋ, ẋ	Ẋ, ẋ													
Y, y	Ỳ, ỳ	Ỵ, ỵ	Ỷ, ỷ	Ỹ, ỷ	Ỷ, ỷ		Ỵ, ỵ	Ỷ, ỷ	Ỷ, ỷ						Ỵ, ỵ					Ỵ, ỵ	Ỵ, ỵ
Z, z		Ẑ, ẑ	Ẓ, ẓ				Ẑ, ẑ						Ẑ, ẑ		Z, z					Z, z	Z, z
Æ, æ		Ǽ, ǽ			Æ, æ																
3, 3												Ǻ, ǻ									
f							ƒ													ƒ	ƒ

NOTE ISO/IEC 10646 ne prévoit pas toujours une minuscule et une capitale pour chaque caractère diacritique. Certaines minuscules ou capitales apparaissent donc isolées dans ce tableau.

6.3.3 Combinaison de diacritiques avec d'autres signes

Le présent document définit des correspondances entre des signes non-alphabétique et des diacritiques, afin d'étendre la liste des signes pris en charge par le clavier.

6.3.3.1 Circonflexe et caron

Le diacritique accent circonflexe se combine avec les chiffres pour produire les exposants, et le diacritique caron pour produire les indices, selon les correspondances décrites dans le tableau ci-après.

NOTE 1 Le choix de l'accent circonflexe est inspiré de la notation LaTeX et de la forme en forme de flèche vers le haut de l'accent.

NOTE 2 Le choix du caron est inspiré de la forme en forme de flèche vers le bas de l'accent par symétrie avec l'accent circonflexe.

Symbole gravé	Circonflexe	Caron
0	Exposant zéro U+2070 ⁰	Indice zéro U+2080 ₀
1	Exposant un U+00B9 ¹	Indice un U+2081 ₁
2	Exposant deux U+00B2 ²	Indice deux U+2082 ₂
3	Exposant trois U+00B3 ³	Indice trois U+2083 ₃
4	Exposant quatre U+2074 ⁴	Indice quatre U+2084 ₄
5	Exposant cinq U+2075 ⁵	Indice cinq U+2085 ₅
6	Exposant six U+2076 ⁶	Indice six U+2086 ₆
7	Exposant sept U+2077 ⁷	Indice sept U+2087 ₇
8	Exposant huit U+2078 ⁸	Indice huit U+2088 ₈
9	Exposant neuf U+2079 ⁹	Indice neuf U+2089 ₉

6.3.3.2 Barre oblique et tilde

La barre oblique et le tilde se combinent avec les symboles ci-dessous pour produire des symboles associés, selon les correspondances décrites dans le tableau ci-après.

Symbole gravé	Barre oblique	Tilde
-		U+2243 ≈
=	U+2260 ≠	U+2248 ≈

NOTE Des correspondances complémentaires sont définies dans les annexes du présent document.

Annexe A **(normative)**

Disposition de clavier de type AZERTY

A.1 Disposition des caractères graphiques

La disposition AZERTY a été conçue pour apporter aux utilisateurs des possibilités nouvelles de saisie sans bouleverser la disposition de clavier historique à laquelle ils sont habitués. La démarche de création de cette disposition est décrite en détail à l'annexe E de la présente Norme.

A.1.1 Présentation

A.1.1.1 Diagramme du clavier

Dans la Figure A1, les touches mortes sont représentées par un glyphe en rouge. Ce glyphe ne préjuge pas du caractère à produire, qui est décrit dans le Tableau 14 (pour les lettres avec signes diacritiques) ou dans la section A.1.2.

	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12													
E	§ &	Θ ε	1 à	‡ †	2 é	% %	3 ê	£ \$	4 è	- -	5 (	- -	6 [	7 ^	8 " "	9 ^	0 _	-]	+ =	± ≈	α μ	.	·	Corr.		
D	Tab.	A a	ª @	Z z	Æ æ	E e	€	R r	® √	T t	Ɔ Ɔ	Y y	¥ {	U u	Ù ù	I i	I l	O o	Œ œ	P p	° }	" "	" "	' '	' '	Retour
C	Verr. Maj.	Q q	ƒ ƒ	S s	ß ß	D d	Đ đ	F f		G g	Ŋ ŋ	H h	™ #	J j	IJ ij	K k	3 3	L l	< «	M m	> »	" '		÷ |	½ ¼	¾
B	Maj.	> <	≥ ≤	W w	W W	X x	φ ©	C c	Ç ç	V v	◌ ◌	B b	◌ ◌	N n	◌ ~	* .	× ...	; ,	◌ ◌	? !	¿ i	/ :	◌ ◌	◌ ◌	◌ ◌	Maj.
A	Ctrl	Super	Alt	espace				espace insécable fine				AltGr	Super	Menu	Ctrl	espace		espace insécable								
				00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12										

Figure A.1 — Carte complète de la disposition AZERTY

A.1.1.2 Signes et points de codage

Dans le Tableau A1, les expressions entre crochets désignent les touches mortes.

Tableau A.1 — Points de codage de la disposition AZERTY (1 sur 2)

Touche	Groupe 1		Groupe 2	
	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 1	Niveau 2
E00	U+0026 &	U+00A7 §	U+01DD ø	U+018F Ø
E01	U+00E0 à	U+0031 1	U+2020 †	U+2021 ‡
E02	U+00E9 é	U+0032 2	U+0025 %	U+2030 ‰
E03	U+00EA ê	U+0033 3	U+0024 \$	U+00A3 £
E04	U+00E8 è	U+0034 4	U+2013 -	[macron] U+0304 ¨
E05	U+0028 (	U+0035 5	U+2014 —	[barre couvrante] U+0336 ¯
E06	U+0020 -	U+0036 6	U+005B [	U+2212 -
E07	[accent circonflexe] U+0302 ^	U+0037 7	[caron] U+030C ˇ	[accent double grave] U+02F5 ˘
E08	[accent aigu] U+0301 ´	U+0038 8	U+221E ∞	[accent double aigu] U+02DD ˝
E09	U+0029)	U+0039 9	[brève] U+0306 ˘	[brève inversée] U+0311 ˘
E10	U+005F _	U+0030 0	U+005D]	[macron souscrit] U+005F _
E11	U+003D =	U+002B +	U+2243 ≈	U+00B1 ±
E12	[lettre grecque] U+03BC μ	[symbole monétaire] U+00A4 ¤	[point en chef] U+0307 ˙	[point souscrit] U+0323 ˘
D01	U+0061 a	U+0041 A	U+0040 @	U+00AA ª
D02	U+007A z	U+005A Z	U+00E6 æ	U+00C6 Æ
D03	U+0065 e	U+0045 E	U+20AC €	
D04	U+0072 r	U+0052 R	U+221A √	U+00AE ®
D05	U+0074 t	U+0054 T	U+00FE þ	U+00DE Ð
D06	U+0079 y	U+0059 Y	U+007B {	U+00A5 ¥
D07	U+0075 u	U+0055 U	U+00F9 ù	U+00D9 Ù
D08	U+0069 i	U+0049 I	U+0131 ı	U+0130 Ĩ
D09	U+006F o	U+004F O	U+0153 œ	U+0152 Œ
D10	U+0070 p	U+0050 P	U+007D }	U+00BA º
D11	[tréma] U+00A8 ¨	U+201C “	U+201E „	U+201D ”
D12	U+0300 `	U+2018 ´	[accent grave] U+201A ,	U+2019 ’
C01	U+0071 q	U+0051 Q	U+017F ƒ	
C02	U+0073 s	U+0053 S	U+00DF ß	U+1E9E ß
C03	U+0064 d	U+0044 D	U+00F0 ð	U+00D0 Ð
C04	U+0066 f	U+0046 F		
C05	U+0067 g	U+0047 G	U+014B ƒ	U+014A ƒ
C06	U+0068 h	U+0048 H	U+0023 #	U+2122 ™
C07	U+006A j	U+004A J	U+0133 ij	U+0132 IJ
C08	U+006B k	U+004B K	U+0292 Ʒ	U+01B7 Ʒ
C09	U+006C l	U+004C L	U+00AB «	U+2039 ‹

Tableau A.1 — Points de codage de la disposition AZERTY (1 sur 2)

Touche	Groupe 1		Groupe 2	
	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 1	Niveau 2
C10	U+006D m	U+004D M	U+00BB »	U+203A ›
C11	U+0027 '	U+0022 "	U+00F7 ÷	
C12	U+007C |	U+00BD ½	U+00BC ¼	U+00BE ¾
B00	U+003C <	U+003E >	U+2A7D ≤	U+2A7E ≥
B01	U+0077 w	U+0057 W	U+20A9 ₩	
B02	U+0078 x	U+0058 X	U+00A9 ©	U+00A2 ¢
B03	U+0063 c	U+0043 C	U+00E7 ç	U+00C7 Ç
B04	U+0076 v	U+0056 V	[ogonek] U+02DB ċ	[cédille] U+00B8 ,
B05	U+0062 b	U+0042 B	U+00B0 °	[rond en chef] U+030A º
B06	U+006E n	U+004E N	[tilde] U+0303 ~	
B07	U+002E .	U+002A *	U+2026 ...	U+00D7 ×
B08	U+002C ,	U+003B ;	U+00B7 ·	[virgule souscrite] U+0326 ‚
B09	U+0021 !	U+003F ?	U+00A1 ¡	U+00BF ¿
B10	U+003A :	U+002F /	U+005C \	[oblique couvrante] U+0337 ⁄
A03	espace U+0020	espace U+0020	espace insécable U+00A0	espace insécable fine U+202F

A.1.1.3 Verrouillage des majuscules

La touche de verrouillage des majuscules met en accès direct les majuscules des lettres aussi bien dans le groupe 1 que dans le groupe 2, ainsi que les chiffres de 0 à 9. Pour toutes les autres positions de touches, le verrouillage des majuscules est sans effet.

A.1.2 Touches mortes

A.1.2.1 Combinaison de touches mortes

La disposition de clavier ne prescrit pas la prise en charge de combinaisons de touches mortes.

A.1.2.2 Saisie de diacritiques par des touches mortes

Les diacritiques définis dans la clause 6 de la présente norme sont saisis par des touches mortes de la disposition AZERTY.

NOTE Certaines lettres diacritées sont également accessibles directement par le groupe 1 ou le groupe 2 de la disposition, sans faire intervenir de touche morte, mais toutes ces lettres peuvent aussi être saisies via des touches mortes.

Diacritiques saisis par pression simple d'une touche morte :

- l'accent grave ;
- l'accent aigu ;
- l'accent circonflexe ;

- le tilde ;
- le tréma ;
- le point en chef ;
- la cédille ;
- le caron ;
- le rond en chef ;
- la brève ;
- la barre couvrante ;
- la diagonale couvrante ;
- le macron ;
- la virgule souscrite ;
- l’ogonek ;
- le point souscrit ;
- l’accent double aigu ;
- l’accent double grave ;
- la brève inversée ;
- le macron souscrit.

Les caractères alphabétiques composés avec ces diacritiques sont définis dans la section 6 du présent document.

A.1.2.2.1 Combinaisons complémentaires pour les diacritiques [barre oblique] et [tilde]

Les touches mortes [barre oblique] et [tilde] se combinent avec des signes non alphabétiques selon la correspondance établie à la clause 6 du présent document. En outre, elles se combinent avec les touches ci-dessous pour produire les signes suivants :

Tableau A.2 — Combinaisons complémentaires pour la [barre oblique]

Touche	Symbole gravé	Groupe 1		Groupe 2	
		Niveau 1	Niveau 2	Niveau 1	Niveau 2
B00	<	U+226E Ꞥ	U+226F ꞥ	U+2270 Ꞧ	U+2271 ꞧ

Tableau A.3 — Combinaisons complémentaires pour le [tilde]

Touche	Symbole gravé	Groupe 1	
		Niveau 1	Niveau 2
B00	<	U+2272 ≲	U+2273 ≳

A.1.2.3 Touches mortes [lettre grecque] et [symbole monétaire]

Les lettres grecques sont produites avec la touche morte [lettre grecque] figurée par le symbole μ , et une lettre latine, selon la correspondance établie dans la section 6 de la présente Norme. Le symbole micro (U+00B5) est produit par deux pressions successives de la touche morte [lettre grecque], ou par pression de la touche morte suivie de la barre d'espace.

NOTE Le symbole micro est distinct de la lettre minuscule grecque mu, produite par la pression de la touche morte [lettre grecque] suivie de la lettre minuscule latine m.

Les symboles monétaires sont produits avec la touche morte [monétaire] figurée par le symbole α , et une lettre latine, selon la correspondance établie dans la section 6 du présent document.

A.2 Gravure des caractères

La gravure du clavier fait figurer les symboles tels qu'illustrés ci-dessous.

Les variations sur les glyphes permettant de les identifier ou les distinguer plus facilement sont autorisées.

- Le point en chef sur la touche E12, groupe 2 niveau 1, peut surmonter un cercle en pointillé pour le distinguer du point médian de la touche B08.
- La virgule et l'apostrophe courbe pouvant être confondus, l'utilisation des symboles de la norme ISO/CEI 9995-7 peut lever cette ambiguïté.



Figure A.2 — Gravure de la disposition AZERTY sur le clavier

Annexe B (normative)

Disposition de clavier de type BÉPO

B.1 Disposition des caractères graphiques

La disposition BÉPO a été conçue pour la méthode dactylographique traditionnelle. C'est-à-dire que chaque touche est associée à un seul doigt. En particulier, dans le cas de la ligne B, la touche B01 est associée à l'auriculaire gauche, la touche B02 à l'annulaire, la touche B03 au majeur et la touche B04 à l'index.

NOTE D'autres méthodes existent pour lesquelles des adaptations sont nécessaires. Par exemple, pour la méthode dactylographique dite en « A » il est préférable de décaler les touches B01 à B05 d'une touche vers la gauche : les caractères de la touche B01 sont déplacés sur la touche B00 ; ceux de la touche B02 vont en B01 et ainsi de suite jusqu'à la touche B05.

B.1.1 Présentation

B.1.1.1 Diagramme du clavier

Dans la Figure B1, les touches mortes sont représentées par un glyphe en rouge. Ce glyphe ne préjuge pas du caractère à produire, qui est décrit dans le Tableau 14 (pour les lettres avec signes diacritiques) ou dans la section B.1.2.

	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12		
E	# ¶	1 „	2 “	3 ”	4 ≤	5 ≥	6	7 ¬	8 ¼	9 ½	0 ¾	° ’	· ”	Corr.	
	\$ -	" —	« <	» >	([)]	@ ^	+ ±	- −	/ ÷	* ×	= ≠	% ‰		
D	Tab.	B	É	P §	O Œ	È `	!	V	D	L £	J	Z	W	Retour	
		b |	é ´	p &	o œ	è `	^ i	v ˇ	d ∞	l /	j	z -	w		
C	Verr. Maj.	A Æ	U Ù	l ·	E ¤	; ,	C ©	T ™	S ŀ	R ®	N	M	Ç ©		
		a æ	u ù	i ¨	e €	, ’	c ¸	t ß	s e	r ¨	n ~	m -	ç		
B	Maj.	Ê ^	À	Y ´	X ´	: ·	K -	? ·	Q ´	G †	H ‡	F	Maj.		
		ê /	à \	y {	x }	. ...	k ~	’ ı	q °	g µ	h .	f ¸		
A	Ctrl	Super	Alt	espace insécable fine				espace insécable				AltGr	Super	Menu	Ctrl
				espace				-							
		00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	

Figure B.1 — Carte complète de la disposition BÉPO

B.1.1.2 Signes et points de codage

Dans le Tableau B1, les expressions entre crochets désignent les touches mortes.

La prise en charge des signes sur fond grisé est recommandée. La prise en charge des autres signes est obligatoire.

Tableau B.1 — Points de codage de la disposition BÉPO (1 sur 2)

Touche	Groupe 1		Groupe 2	
	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 1	Niveau 2
E00	U+0024 \$	U+0023 #	U+2013 –	U+00B6 ¶
E01	U+0022 "	U+0031 1	U+2014 —	U+201E „
E02	U+00AB «	U+0032 2	U+003C <	U+201C “
E03	U+00BB »	U+0033 3	U+003E >	U+201D ”
E04	U+0028 (	U+0034 4	U+005B [	U+2A7D ≤
E05	U+0029)	U+0035 5	U+005D]	U+2A7E ≥
E06	U+0040 @	U+0036 6	U+005E ^	
E07	U+002B +	U+0037 7	U+00B1 ±	U+00AC ¬
E08	U+002D -	U+0038 8	U+2212 −	U+00BC ¼
E09	U+002F /	U+0039 9	U+00F7 ÷	U+00BD ½
E10	U+002A *	U+0030 0	U+00D7 ×	U+00BE ¾
E11	U+003D =	U+00B0 °	U+2260 ≠	U+2032 ′
E12	U+0025 %	U+0060 `	U+2030 ‰	U+2033 ″
D01	U+0062 b	U+0042 B	U+007C |	
D02	U+00E9 é	U+00C9 É	[accent aigu] U+0301 ´	
D03	U+0070 p	U+0050 P	U+0026 &	U+00A7 §
D04	U+006F o	U+004F O	U+0153 œ	U+0152 Œ
D05	U+00E8 è	U+00C8 È	[accent grave] U+0300 `	U+0060 `
D06	[accent circonflexe] U+0302 ^	U+0021 !	U+00A1 ¡	
D07	U+0076 v	U+0056 V	[caron] U+02C7 ˇ	
D08	U+0064 d	U+0044 D	[symbole scientifique] U+221E ∞	
D09	U+006C l	U+004C L	[oblique couvrante] U+0337 ˘	U+00A3 £
D10	U+006A j	U+004A J		
D11	U+007A z	U+005A Z	[barre couvrante] U+0336 –	
D12	U+0077 w	U+0057 W		
C01	U+0061 a	U+0041 A	U+00E6 æ	U+00C6 Æ

Tableau B.1 — Points de codage de la disposition BÉPO (2 sur 2)

Touche	Groupe 1		Groupe 2	
	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 1	Niveau 2
C02	U+0075 u	U+0055 U	U+00F9 ù	U+00D9 Ù
C03	U+0069 i	U+0049 I	[tréma] U+0308 ¨	[point en chef] U+0307 ˙
C04	U+0065 e	U+0045 E	U+20AC €	[symbole monétaire] U+00A4 ¤
C05	U+002C ,	U+003B ;	U+0027 '	[virgule souscrite] U+002C ,
C06	U+0063 c	U+0043 C	[cédille] U+00B8 ç	U+00A9 ©
C07	U+0074 t	U+0054 T	[latin et ponctuation] U+00DF ß	U+2122 ™
C08	U+0073 s	U+0053 S	[exposant] U+1D49 ^e	U+017F f
C09	U+0072 r	U+0052 R	[brève] U+0306 ˘	U+00AE ®
C10	U+006E n	U+004E N	[tilde] U+0303 ñ	
C11	U+006D m	U+004D M	[macron] U+0304 ˆ	
C12	U+00E7 ç	U+00C7 Ç		U+0028 (ç)
B00	U+00EA ê	U+00CA Ê	U+002F /	U+005E ^
B01	U+00E0 à	U+00C0 À	U+005C \	
B02	U+0079 y	U+0059 Y	U+007B {	U+2018 ‘
B03	U+0078 x	U+0058 X	U+007D }	U+2019 ’
B04	U+002E .	U+003A :	U+2026 ...	U+00B7 ·
B05	U+006B k	U+004B K	U+007E ~	U+2011 -
B06	U+2019 ’	U+003F ?	U+00BF ¿	[crochet en chef] U+0309 ˇ
B07	U+0071 q	U+0051 Q	[rond en chef] U+030A °	[cornu] U+031B ˆ
B08	U+0067 g	U+0047 G	[lettre grecque] U+03BC μ	U+2020 †
B09	U+0068 h	U+0048 H	[point souscrit] U+0323 ˙	U+2021 ‡
B10	U+0066 f	U+0046 F	[ogonek] U+02DB ˛	
A03	espace U+0020	espace insécable fine U+202F	U+005F _	espace insécable U+00A0

NOTE Le symbole Copyleft, pour lequel la touche C12, groupe 2, niveau 2 est réservée, n'est pas encore pris en charge par ISO/IEC 10646.

B.1.1.3 Verrouillage des majuscules

La touche de verrouillage des majuscules met en accès direct les majuscules des lettres aussi bien dans le groupe 1 que dans le groupe 2, ainsi que les chiffres de 0 à 9. Pour toutes les autres positions de touches, le verrouillage des majuscules est sans effet.

B.1.2 Touches mortes

B.1.2.1 Combinaisons de touches mortes

La disposition de clavier prend en charge les enchainements de touches mortes. Les enchainements permettent ainsi de :

— composer de nouveaux diacritiques.

EXEMPLE 1 Deux frappes successives de l'[accent grave] permet d'accéder au [double accent grave]. L'appui de [accent grave], [accent grave] et E produit È

— combiner plusieurs diacritiques sur un seul caractère

EXEMPLE 2 La frappe de l'[accent aigu], de la [barre oblique] puis du O produit Ø.

— lorsque la répétition d'une même touche morte ne compose pas de diacritique composé, d'accéder aux variantes souscrites du même diacritique si elle existe.

EXEMPLE 3 Deux frappes successives du [macron] permettent d'obtenir le [macron souscrit].

— combiner un diacritique avec un caractère lui-même saisi via une touche morte

EXEMPLE 4 Combiner le [caron] et le 3 (ej) pour obtenir Š.

NOTE Par exemple, l'appui de [accent grave], [accent grave] et E produit È.

B.1.2.2 Saisie de diacritiques par des touches mortes

B.1.2.2.1 Diacritiques généraux

Les diacritiques définis dans l'Article 6 du présent document sont saisis par des touches mortes de la disposition BÉPO.

NOTE Certaines lettres diacritées sont également accessibles directement par le groupe 1 ou le groupe 2 de la disposition, sans faire intervenir de touche morte, mais toutes ces lettres peuvent aussi être saisies via des touches mortes.

Diacritiques saisis par pression simple d'une touche morte :

— l'accent grave ;

— l'accent aigu ;

— l'accent circonflexe ;

— le tilde ;

— le tréma ;

— le point en chef ;

- la cédille ;
- le caron ;
- le rond en chef ;
- la brève ;
- la barre couvrante ;
- la diagonale couvrante ;
- le macron ;
- la virgule souscrite ;
- l’ogonek ;
- le point souscrit ;

Diacritiques saisis par pression double d’une touche morte :

- l’accent double aigu par double frappe de l’accent aigu ;
- l’accent double grave par double frappe de l’accent grave ;
- la brève inversée par double frappe de la brève ;
- le macron souscrit par double frappe du macron.

Les caractères alphabétiques composés avec ces diacritiques sont définis dans la section 6 du présent document.

B.1.2.2.2 Combinaisons complémentaires pour les diacritiques [barre oblique] et [tilde]

Les touches mortes [barre oblique] et [tilde] se combinent avec des signes non alphabétiques selon la correspondance établie à l’Article 6 du présent document. En outre, elles se combinent avec les touches ci-dessous pour produire les signes suivants :

Tableau B.2 — Combinaisons complémentaires pour la [barre oblique]

Touche	Symbole gravé	Groupe 1
		Niveau 1
E02	«	U+226E ⸀
E03	»	U+226F ⸁
E04	(	U+2270 ⸂
E05	)	U+2271 ⸃

Tableau B.3 — Combinaisons complémentaires pour le [tilde]

Touche	Symbole gravé	Groupe 1
		Niveau 1
E02	«	U+2272 ≲
E03	»	U+2273 ≳

De plus quand deux combinaisons de la barre oblique et d'une lettre sont possibles, il est recommandé d'utiliser les deux groupes de la touche pour proposer les deux versions.

EXEMPLE La combinaison de la barre oblique et de la touche K (B05) groupe 1, niveau 1 produit la lettre *k* (U+A743) alors que la même touche groupe 2, niveau 1 produit *ƙ* (U+A7A3).

B.1.2.2.3 Diacritiques recommandés

Pour une prise en charge maximale des langues utilisant l'alphabet latin, mais aussi de translitérations ou de romanisation d'autres langues, d'autres diacritiques sont nécessaires tels que :

- crochet en chef ;
- cornu ;
- circonflexe souscrit ;
- tilde souscrit ;
- tilde couvrant ;
- tréma souscrit ;
- rond souscrit.

Ceux-ci peuvent être pris en charge par des diacritiques pour lesquels un espace réservé est prévu dans la section B.1.1.2, ou par le doublement d'un diacritique suscrit, permettant d'accéder au diacritique souscrit.

EXEMPLE La double frappe du rond en chef permet d'accéder au rond souscrit.

B.1.2.3 Touches mortes [lettre grecque] et [symbole monétaire]

Les lettres grecques sont produites avec la touche morte [lettre grecque] figurée par le symbole μ , et une lettre latine, selon la correspondance établie dans la section 6 du présent document. Le symbole micro (U+00B5) est produit par deux pressions successives de la touche morte [lettre grecque].

NOTE Le symbole micro est distinct de la lettre minuscule grecque mu, produite par la pression de la touche morte [lettre grecque] suivie de la lettre minuscule latine m.

Les symboles monétaires sont produits avec la touche morte [monétaire] figurée par le symbole ₣ , et une lettre latine, selon la correspondance établie dans la section 6 du présent document.

B.1.2.4 Touches mortes spécifiques à la disposition BÉPO

B.1.2.4.1 Touche morte [latin et ponctuation]

Ces lettres sont saisies par combinaison de la touche morte [latin et ponctuation] figurée par la lettre β .

La prise en charge des signes sur fond grisé est recommandée. La prise en charge des autres signes est obligatoire.

Tableau B.4 — Caractères saisis par la touche morte ß

Touche	Symbole gravé	Groupe 1		Groupe 2	
		Niveau 1	Niveau 2	Niveau 1	Niveau 2
E02	«	U+2039 ‹ (Chevron simple ouvrant)			
E03	»	U+203A › (Chevron simple fermant)			
E08	-	U+00AD - (Trait d'union conditionnel)			
D08	D	U+00F0 đ	U+00D0 Đ		
D10	J	U+0133 ij	U+0132 IJ		
D11	Z	U+0292 z	U+01B7 Z		
C04	E	U+0259 ə	U+018F Ə		
C06	C	U+03B8 θ	U+03F4 Θ		
C07	T	U+00FE þ	U+00DE Þ		
C08	S	U+00DF ß	U+1E9E ß		
C10	N	U+014B ŋ	U+014A Ŋ		
B02	Y				U+02BC ' (Lettre apostrophe)
B03	X				U+02BB ' (Lettre apostrophe culbutée)
B07	Q	U+02BC ' (Lettre apostrophe)			
A03			U+2003 (Espace cadratin)		

B.1.2.4.2 Touche morte [symbole scientifique]

La touche morte [symbole scientifique] figurée par le symbole ∞ produit les symboles associés selon les combinaisons définies ci-après.

Tableau B.5 — Caractères saisis par la touche morte ∞

Touche	Symbole gravé	Groupe 1	
		Niveau 1	Niveau 2
E08	-	U+221E ∞	
D07	V		U+221A √

B.1.2.4.3 Touches mortes [exposant]

La touche morte [exposant] figurée par le symbole ° produit les symboles associés selon les combinaisons définies ci-après.

Tableau B.6 — Caractères saisis par la touche morte °

Touche	Symbole gravé	Groupe 2	
		Niveau 1	Niveau 2
C11	M	U+00BA °	
B10	F	U+00AA °	

NOTE La combinaison de cette touche morte avec une lettre peut produire la lettre en exposant correspondante (lettre modificative) en tenant compte de la casse.

EXEMPLE La touche morte [exposant], puis la lettre A en majuscule produit ^A (U+1D2C).

La touche morte [exposant] suivie d'un chiffre produit ce chiffre en exposant.

Il est recommandé que la touche morte [exposant] produise également en exposant les symboles pour lesquels un point de codage est prévu par ISO/IEC 10646.

EXEMPLE ISO/IEC 110646 prévoit des points de codage pour les caractères = , + , - , (et) en exposant

B.1.2.4.4 Touche morte [indice]

La touche morte [indice] est obtenue par la double frappe de la touche morte [exposant].

La touche morte [indice] suivie d'un chiffre produit ce chiffre en indice.

Il est recommandé que la touche morte [indice] produise également en indice les symboles pour lesquels un point de codage est prévu par ISO/IEC 10646.

EXEMPLE ISO/IEC 110646 prévoit des points de codage pour les caractères = , + , - , (et) en indice.

NOTE 1 La combinaison de cette touche modificatrice avec une lettre minuscule peut produire la lettre souscrite correspondante.

EXEMPLE 1 La touche modificatrice exposant en double frappe, puis la lettre A en minuscule produit _a (U+2090).

NOTE 2 La combinaison de cette touche modificatrice avec une lettre majuscule peut produire la lettre en petite capitale.

EXEMPLE 2 La touche modificatrice exposant en double frappe, puis la lettre A en majuscule produit ^A (U+1D00).

Annexe C (informative)

Critères de choix des dispositions AZERTY et BÉPO pour les utilisateurs

Le choix, pour l'utilisateur, de recourir à un produit conforme selon l'Annexe A ou l'Annexe B du présent document peut s'appuyer sur les considérations suivantes. Les deux dispositions donnent accès à l'ensemble des caractères nécessaires à l'entrée de texte en Français, ce que la disposition AZERTY actuelle ne fait pas.

C.1 Disposition AZERTY

La disposition de clavier de type AZERTY :

- a été conçue pour minimiser l'effort d'adaptation pour les utilisateurs d'un clavier AZERTY actuel ;
- a été conçue pour maximiser la performance et l'ergonomie pour la saisie des caractères non-alphanumériques.

Toutefois :

- elle conserve la disposition des lettres de l'AZERTY actuel, qui a été associée à des risques de troubles musculo-squelettiques (TMS).

C.2 Disposition BÉPO

La disposition de clavier de type BÉPO :

- a été conçue pour maximiser la performance et l'ergonomie pour la saisie de tous les caractères ;
- a été conçue pour réduire les risques de troubles musculo-squelettiques (TMS).

Toutefois :

- elle nécessite un effort d'adaptation plus important que celui qui est requis pour adopter la disposition de type AZERTY (Annexe A).

Annexe D (informative)

Recommandations pour la conception de dispositions de clavier personnalisées

Des dispositions de clavier différentes de celles décrites aux Annexes normatives A et B du présent document, optimisées pour tel ou tel besoin ou préférence, pourront être conçues. Ces dispositions seront dites « dispositions de clavier personnalisées » dans la suite de cette annexe. Elles ne pourront être considérées ni présentées comme conforme à la présente Norme (cf. section 2 Conformité).

Elles pourraient toutefois, tout en retenant leurs approches spécifiques, s'appuyer sur des éléments du présent document afin d'apporter à leurs utilisateurs un niveau de service élevé, notamment en ce qui concerne les points suivants :

- prise en charge linguistique (notamment la langue française selon les règles orthographiques et typographiques admises) ;
- continuité, dans la mesure du possible, de l'expérience des utilisateurs qu'ils se trouvent en présence d'une disposition de clavier personnalisée ou de l'une des dispositions de clavier décrites aux Annexes A et B de la présente Norme. Cette continuité d'expérience peut à titre d'exemple concerner le comportement des touches mortes, le rapprochement des signes de ponctuation ouvrants et fermants.

C'est pourquoi la présente annexe encourage les concepteurs de dispositions de clavier personnalisées à prendre en compte, dans la mesure où cela est compatible avec les objectifs spécifiques qu'ils poursuivent, à prendre en compte les sections suivantes du présent document :

- section 5 et ses sous-sections ;
- section 6.3 et ses sous-sections.

Annexe E (informative)

Élaboration de la disposition AZERTY modernisée

Introduction

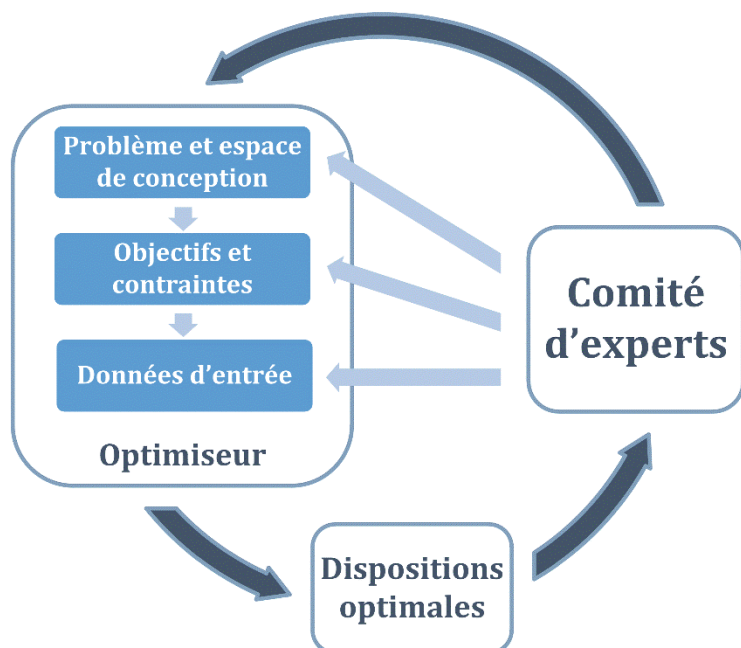
Choisir la meilleure disposition des caractères sur un clavier consiste à définir l'équilibre optimal entre plusieurs besoins liés à son utilisation, pour différentes catégories d'utilisateurs et d'usage. Décider où placer un caractère est un problème difficile. Par exemple, placer le caractère '[' sur une touche très accessible peut faciliter l'entrée de texte pour un groupe d'utilisateurs (informaticiens), mais priver d'autres utilisateurs de cet emplacement privilégié pour un autre caractère qui leur serait plus utile. Ce type de problème s'applique pour chaque caractère, chaque emplacement, et chacune des relations entre ces caractères et ces emplacements, ce qui le rend impossible à résoudre à la main en un temps raisonnable.

La conception de la nouvelle disposition AZERTY s'est appuyée sur une méthode d'optimisation combinatoire permettant d'explorer de manière systématique toutes les configurations possibles des caractères sur le clavier, tout en considérant simultanément quatre objectifs de conception : vitesse de saisie, similarité avec la disposition précédente (à laquelle les utilisateurs sont habitués), groupement de caractères similaires (p. ex. '[' et ']'), et ergonomie. De par son aspect systématique et flexible, cette approche permet de trouver, parmi un très grand nombre de dispositions possibles, la solution qui répond au mieux à l'équilibre souhaité entre ces quatre objectifs. Les propriétés de l'algorithme utilisé garantissent mathématiquement que la disposition choisie est une bonne solution, quel que soit le nombre de solutions possibles.

L'approche choisie s'appuie sur les dernières avancées de la recherche en optimisation combinatoire – et plus précisément la programmation linéaire en nombre entiers – et en conception de claviers. Trois problèmes ont été résolus : 1) la définition du problème d'affectation d'un caractère à un emplacement, 2) la collection de données représentatives et le développement de modèles pour les quatre objectifs de conception, et 3) la conception d'un solveur efficace pour le problème adressé.

Le processus de conception

Notre approche s'appuie sur les méthodes d'optimisation combinatoire pour concevoir une nouvelle disposition AZERTY. Les spécifications de ce processus de conception ont été élaborées avec un comité d'experts (incluant des experts de la langue française, des représentants des Autorités publiques, des fabricants de claviers et des chercheurs en Interaction Homme-Machine) afin de calibrer de manière itérative les paramètres de l'algorithme d'optimisation (ou "optimiseur"), et de définir les corpus de texte à utiliser afin de représenter au mieux les différents groupes d'utilisateurs et les tâches d'entrée de texte considérées. Le système final optimise l'arrangement spatial d'un ensemble prédéfini de caractères sur un ensemble d'emplacements fixes du clavier (CF Figure 2), à partir d'objectifs normatifs définis par un comité d'experts et d'observations statistiques sur l'utilisation contemporaine de la langue française.



L'initialisation de l'algorithme d'optimisation s'effectue en trois principales étapes :

1. *Formulation du problème et espace de conception* : le problème consiste à trouver, pour chaque caractère considéré, une position parmi les emplacements disponibles sur le clavier physique qui satisfasse au mieux un ensemble d'objectifs. Cette formulation permet l'application de méthodes de recherche opérationnelle existantes pour trouver de très bonnes solutions au problème. Elle permet également de caractériser précisément l'espace des solutions possibles.
2. *Objectifs et contraintes* : le comité de standardisation énonce les caractéristiques souhaitées (objectifs) et nécessaires (contraintes) de la nouvelle disposition AZERTY, qui sont regroupées sous la forme de critères d'évaluation et formulées mathématiquement. Ces objectifs ne considèrent pas seulement la performance de la saisie, mais aussi la similarité avec la précédente disposition AZERTY, le regroupement spatial des caractères similaires, et l'ergonomie.
3. *Données en entrée* : Nous avons collecté un grand nombre de données afin de paramétrer nos critères d'évaluation. Ceci inclut des données concernant la durée du mouvement d'une touche à une autre, des estimations ergonomiques, une mesure de distance entre les emplacements du clavier prenant en compte les modificateurs, et une quantification de la similarité entre caractères. Nous avons également collecté des corpus de textes représentatifs des usages courants, allant de textes formels à des publications sur médias sociaux. Ceci garantit que le processus d'optimisation est en adéquation avec la majorité des besoins pour l'entrée de texte.

Une fois réalisé (à l'aide du solveur commercial Gurobi ⁵, l'algorithme d'optimisation a été utilisé en interaction avec le comité d'experts pour explorer des trillions d'arrangements différents de caractères sur le clavier. Le comité a défini plusieurs scénarios, par exemple en contraignant le positionnement de certains caractères à certains emplacements, ou en explorant différentes pondérations des critères d'évaluation pour favoriser par exemple des dispositions plus proches de celle du précédent AZERTY, ou qui permettent une saisie plus rapide. L'optimiseur produit des dispositions optimales selon les critères d'évaluation définis plus haut, qui peuvent alors être évaluées qualitativement par le comité. Ceci a entraîné des ajustements dans les scénarios ou dans les pondérations, ce qui a produit de nouvelles dispositions optimisées, et ainsi de suite (voir les flèches bleues sur la Figure 1). Finalement, des ajustements manuels ont été explorés par le comité à partir de la solution la plus satisfaisante de l'optimiseur. Ils ont consisté à déplacer ou échanger les emplacements de différents caractères afin d'ajuster localement l'équilibre entre les critères d'évaluation. L'optimiseur a permis de surveiller les effets de chacun de ces changements sur chacun des quatre objectifs.

La disposition finale n'est donc pas nécessairement celle minimisant tous les critères, ni celle minimisant la « fonction objectif » globale. Des choix de conception sont apparus plus tard dans le processus, ou n'ont pas pu être implémentés mathématiquement, ou ont été le résultat d'un consensus parmi le groupe d'experts malgré les scores de la fonction objectif.

Le résultat obtenu avec ce processus est une disposition des caractères qui améliore significativement l'utilisabilité des claviers pour une large proportion des utilisateurs, validée à la fois quantitativement à l'aide de la formalisation mathématique des critères d'évaluation et qualitativement par le comité d'experts.

La suite du document décrit la définition et la configuration du processus d'optimisation en détail.

⁵ <http://www.gurobi.com/>

Formulation du problème et espace de conception

Le problème de conception consistant à trouver la meilleure disposition des caractères sur le clavier peut être formulé comme le problème d'arrangement des lettres : *Étant donnés N caractères et M emplacements (N ≤ M), quel est l'arrangement des caractères sur les emplacements qui minimise le coût de l'interaction pour saisir un caractère j après n'importe quel caractère i.*



L'ensemble des N caractères à placer, $C = \{C_1, C_2, \dots, C_N\}$ a été déterminé par le comité d'experts. L'ensemble des emplacements $S = \{S_1, S_2, \dots, S_M\}$ consiste en la zone dite alphanumérique de l'arrangement de clavier harmonisé à 48 touches tel que défini dans le standard ISO/IEC⁶ (voir la zone verte sur la Figure 2). Les emplacements non considérés sont ceux occupés par des caractères fixes, à savoir les positions des lettres A-Z minuscules et majuscules et des chiffres 0-9. Nous avons considéré des scénarios allant jusqu'à 122 caractères spéciaux à placer (à comparer avec les 46 du précédent AZERTY), et jusqu'à 129 emplacements : 22 emplacements sans modificateurs, 12 emplacements utilisant le modificateur Shift, 48 emplacements utilisant AltGr, et 48 emplacements utilisant à la fois AltGr et Shift (les modificateurs sont indiqués en bleu sur la Figure 2).

Avec 129 emplacements et jusqu'à 122 caractères, il y a plus de 10^{213} configurations possibles, un espace qu'il est inconcevable d'explorer manuellement. En revanche, l'optimisation combinatoire permet d'explorer systématiquement de tels nombres de configurations, et de les évaluer simultanément sur plusieurs critères à la fois et sans a priori. De plus, elle offre des garanties numériques sur la qualité de la disposition obtenue.

Pour répondre à la question de savoir si un caractère doit être placé sur un certain emplacement, il faut considérer la relation de ce caractère avec tous les autres caractères et les emplacements sur lesquels ils sont placés. Par exemple, pour décider où placer le caractère 'é', nous devons considérer la position du caractère 'e' car ils sont souvent entrés l'un à la suite de l'autre. Ceci rend le problème d'arrangement "quadratique" : non seulement chaque caractère et chaque emplacement doivent être considérés, mais également les relations entre toutes les paires de caractères et d'emplacements. Ce type de problème est particulièrement difficile à résoudre. Des travaux de recherche précédents ont utilisé de tels termes quadratiques [2, 5], mais sur des ensembles de caractères et un espace de conception bien plus petits. À notre échelle, trouver une solution globalement optimale faisant intervenir de nombreux termes quadratiques n'est pas possible en un temps raisonnable (ce problème appartient à la classe des problèmes dits NP-complets [2]).

Pour cette raison, nous proposons une simplification du problème qui limite les facteurs quadratiques dans notre formulation. La modification s'appuie sur l'hypothèse que le pourcentage de caractères spéciaux utilisés consécutivement est négligeable, et ainsi que la majorité des caractères spéciaux sont utilisés avant ou après les 26 lettres de l'alphabet ou un espace, $L = \{L_1, L_2, \dots, L_{27}\}$. La position des lettres sur le clavier étant fixe, la minimisation d'un coût d'interaction $I(i, c)$ correspondant à la saisie d'un caractère spécial C_i avant ou après une lettre fixe L_c devient un problème linéaire :

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{c=1}^{27} I(i, c)$$

⁶ "ISO/IEC 9995-2:2009 - Information technology -- Keyboard layouts for" 11 Dez.. 2009, <https://www.iso.org/standard/51644.html>.

Objectifs et Contraintes

Le but de cette standardisation est de définir une nouvelle disposition des caractères sur le clavier qui, en comparaison avec le précédent AZERTY, (1) facilite la saisie de texte en Français correct, (2) permet l'accès à davantage de caractères spéciaux fréquemment utilisés dans les langues européennes, la programmation, les mathématiques, etc., et (3) soit intuitive à utiliser et facile à appréhender. Nous avons formulé quatre critères d'évaluation à partir de ces objectifs de conception qui déterminent le coût I de la saisie d'un caractère spécial avant ou après une lettre de l'alphabet. Nous décrivons ces critères et présentons ensuite leur formulation mathématique et le problème d'optimisation complet comme un programme linéaire en nombres entiers.

Nous considérons les 4 critères d'évaluation suivants :

- **Performance** : Pour faciliter la saisie de texte français correct, notre solution doit permettre de minimiser le temps nécessaire pour saisir des caractères spéciaux fréquemment utilisés avant ou après un lettre fixe (p. ex. é + e).
- **Associations** : Pour garantir une disposition cohérente et intuitive, les caractères similaires doivent être situés à proximité les uns des autres, p. ex. '(' et ')'

NOTE Il s'agit là du seul objectif qui considère des relations entre caractères spéciaux. Nous ne considérons qu'un nombre restreint de similarités entre caractères, et pouvons ainsi garantir que de bonnes dispositions peuvent toujours être trouvées en un temps raisonnable.

- **Familiarité** : Pour faciliter l'adaptation à la nouvelle disposition, les caractères spéciaux les plus utilisés doivent être placés à proximité de leur emplacement dans la disposition AZERTY précédente.
- **Ergonomie** : Pour faciliter l'entrée de texte français correct, les paires de lettres fréquentes doivent être ergonomiquement faciles à saisir. Exécuter de façon répétée les mêmes mouvements extrêmes peut entraîner des troubles musculosquelettiques [1,3]. En particulier, saisir des caractères nécessitant des modificateurs (AltGr, Shift) peut favoriser des postures inconfortables du poignet et des doigts.

Le problème est défini comme un programme linéaire en nombres entiers à l'aide des variables suivantes :

- $\{x_{ik} \mid i = 1, \dots, N, k = 1, \dots, M\}$ est égal à 1 si le caractère C_i est placé sur l'emplacement S_k , 0 sinon.
- $L = \{L_1, L_2, \dots, L_{27}\}$ est l'ensemble des 26 lettres de l'alphabet et espace, qui ont une position fixe sur le clavier. Pour une lecture simplifiée, nous utiliserons dans la suite du document la même variable pour indiquer le caractère fixe L_c et l'emplacement physique correspondant sur le clavier.

Nous pouvons alors formaliser mathématiquement les quatre critères d'évaluation comme suit :

Performance:

Les séquences caractère-lettre ou lettre-caractère fréquentes devraient être rapides à saisir. Le score de performance est donc défini comme le terme linéaire :

$$P = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m \sum_{c=1}^{27} (p_{ci}t_{ck} + p_{ic}t_{kc}) x_{ik}$$

où i est un indice sur les n caractères spéciaux, k est un indice sur les m emplacements disponibles sur le clavier, et c un indice sur les 27 lettres fixes. p_{ic} représente la fréquence de la séquence $C_i \rightarrow L_c$ (et réciproquement p_{ci}), et t_{kc} quantifie le temps pour se déplacer de l'emplacement S_k à l'emplacement L_c (et réciproquement t_{ck}). Il est important de noter que le temps de mouvement n'est pas symétrique, c'est à dire que $t_{kc} \neq t_{ck}$.

La collection de données de performance t et de fréquence p est détaillée plus bas.

Associations:

Les caractères spéciaux devraient être placés à proximité de caractères (lettres ou non) qui leurs sont similaires. Le score d'Associations est défini avec un terme linéaire et un terme quadratique :

$$A = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m \sum_{c=1}^{27} s_{ic} d_{kc} x_{ik} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^m s_{ij} d_{kl} x_{ik} x_{jl}$$

où i, j sont des indices sur les n caractères spéciaux, k, l sont des indices sur les m emplacements disponibles, et c est un indice sur les 27 lettres. s_{ic} et s_{ij} représentent une estimation de la similarité entre le caractère C_i et la lettre L_c , et les caractères C_i et C_j respectivement. d_{kc} quantifie la distance entre l'emplacement de la lettre fixe L_c et l'emplacement S_k , et d_{kl} la distance entre les emplacements S_k and S_l . Noter que le score de similarité et la distance entre deux emplacements sont tous les deux symétriques.

Les notions de distance d entre emplacements et de similarité s entre caractères sont détaillés plus bas.

Familiarité:

Les caractères devraient être situés à proximité de leur position dans la disposition AZERTY précédente, le cas échéant. Le score de familiarité est défini comme le terme linéaire :

$$F = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m p_i d_{ki} x_{ik}$$

où p_i représente la fréquence du caractère C_i et d_{ki} la distance entre l'emplacement S_k et l'emplacement du caractère C_i sur la disposition AZERTY précédente (la notation est simplifiée pour faciliter la lecture).

Ergonomie

La saisie de séquences de caractères fréquentes ne doit pas causer de mouvements ni de postures inconfortables pour le poignet et des doigts. Le score d'ergonomie est défini comme le terme linéaire :

$$P = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m \sum_{c=1}^{27} (p_{ci} e_{ck} + p_{ic} e_{kc}) x_{ik}$$

où e_{ck} représente le coût ergonomique de se déplacer de l'emplacement de la lettre L_c à l'emplacement S_k (et réciproquement e_{kc}). Noter que le score d'ergonomie n'est pas symétrique, c'est à dire que $e_{kc} \neq e_{ck}$.

La quantification du coût ergonomique e est détaillée plus bas.

La fonction objectif

Ces quatre critères permettent de formuler la fonction objectif de l'optimiseur comme le programme linéaire en nombres entiers suivant :

$$\min w_P P + w_A A + w_F F + w_E E$$

Avec pour contraintes :

$$\begin{aligned}
 x_{ik} &= x_{jl} && \forall i, j \in \{1, \dots, n\} \text{ s. t. } C_j \text{ capitalized } C_i \\
 & && \forall k, l \in \{1, \dots, m\} \text{ s. t. } S_l \text{ shifted } S_k \\
 \sum_{k=1}^m x_{ik} &= 1 && \forall i \in \{1, \dots, n\} \\
 \sum_{i=1}^n x_{ik} &\leq 1 && \forall k \in \{1, \dots, m\} \\
 x_{ik} &\in \{0, 1\} && \forall i \in \{1, \dots, n\}, \forall k \in \{1, \dots, m\}
 \end{aligned}$$

La fonction à minimiser est la somme pondérée des quatre critères d'évaluation présentés ci-dessus, dont la somme des poids $w_P + w_A + w_F + w_E = 1$. La première contrainte garantit qu'un caractère en majuscule doit être assigné à l'emplacement "Shift"-é de son équivalent en minuscule (AltGr+Shift si le caractère minuscule est sur un emplacement AltGr). Les seconde et troisième contraintes garantissent l'unicité des assignations : un caractère est assigné à un emplacement unique, et un emplacement ne peut être assigné qu'à un unique caractère au maximum. La dernière contrainte garantit la binarité des variables de décision.

Paramètres des critères d'évaluation et collecte de données

Le succès d'un processus d'optimisation réside en partie dans la qualité des données utilisées dans le calcul de la fonction objectif, qui doivent être suffisamment représentatives des tâches et des utilisateurs modélisés. Nous décrivons ici la collecte et le traitement des données utilisées dans les critères d'évaluation des dispositions de caractères sur le clavier décrits dans la section précédente.

Statistiques de la langue française

La plupart des critères d'évaluation de l'optimiseur nécessitent de connaître la distribution statistique de tout caractère et digramme (séquence de deux caractères) utilisés dans la langue française. Afin de refléter au mieux l'usage moderne du clavier français, le comité d'experts a collecté des corpus de texte dans trois catégories distinctes axées sur l'exactitude orthographique, grammaticale, et l'utilisation correcte des caractères spéciaux (catégorie « Formelle »), les expressions usuelles et l'utilisation de vocabulaire émergent (catégorie « Populaire »), et l'amélioration de l'accès aux caractères utilisés en programmation (catégorie « Code »). Les corpus ont été soit obtenus par collecte automatique depuis Internet, soit fournis par l'ELRA (European Language Resources Association). L'ensemble collecté est le plus grand corpus utilisé pour l'optimisation de dispositions de caractères sur clavier français, avec plus de cinq milliards de caractères au total.

La catégorie « Formelle » est constituée de textes en Français, soit écrits par des professionnels soit corrigés quotidiennement par une communauté dédiée. Elle inclut l'ensemble des pages Wikipedia en Français en Juin 2014, des textes légaux sur la législation environnementale et du travail, des questions écrites adressées au Journal Officiel de l'Union Européenne et les réponses correspondantes, des retranscriptions d'émissions de radio, et des articles de journaux d'information français reconnus.

La catégorie « Populaire » contient des emails anonymisés, et les mille publications (*posts*) les plus récentes, en Août 2016, de 10 comptes Twitter et 10 comptes Facebook célèbres. Le contenu, la grammaire, l'orthographe et l'utilisation de caractères spéciaux de ces publications n'ont pas été corrigés *a posteriori* afin de refléter un usage réaliste. Nous avons observé que les adresses web (URL) sont très fréquentes dans les tweets, peut-être à cause de la limite des 140 caractères. Afin de ne pas biaiser notre jeu de données (nous nous intéressons aux usages généraux, pas à Twitter en particulier), nous avons aléatoirement retiré 75 % de ces URLs du corpus Twitter.

La catégorie "Code" consiste en des fichiers de texte dans quatre langages de programmation (C++, Java, Python, Javascript) et deux langages de présentation (HTML, CSS). Ces fichiers ont été collectés depuis la plateforme Github à raison de 10 projets de plus de 1000 lignes de code (LdC) par langage. Le contenu des commentaires de chaque fichier a été retiré du corpus, mais pas les délimiteurs de ces commentaires.

Nous avons ensuite calculé les fréquences de chaque caractère et digramme. Les tailles des différents corpus variant drastiquement (de 1 million à 4,8 milliards de caractères), nous avons d'abord calculé ces fréquences pour chaque corpus séparément. La distribution finale (p) utilisé dans nos critères d'évaluation est la somme pondérée de ces fréquences pour chaque caractère et digramme. Les pondérations, 0,08 pour les corpus de texte et 0,02 pour les corpus de code, ont été discutés et validés par le comité d'experts.

Poids	Catégorie	Corpus	Nb caract.	Commentaires	Source
0,08	Formelle	Politiques environnementales (x2)	417 M		ELRA
		Législation du travail (x2)	490 M		
		Q&R au Journal Officiel de l'Union Européenne	2 M		
		Retranscriptions d'émissions de radio	10 M		
		Articles de journaux d'information	162 M	Le Monde, Le Monde Diplomatique, Est Républicain	
		Wikipedia en Français	4811 M	Tous les articles en Juin 2014	Collection automatique
	Populaire	E-mails anonymisés	1 M		ELRA
		Twitter	1 M	1 000 <i>posts</i> les plus récents de 10 comptes célèbres. Exclusion de 75 % des URLs pour permettre la généralisation de nos statistiques	Collection automatique
		Facebook	2 M	1 000 <i>posts</i> les plus récents de 10 comptes célèbres	
0,02	Code	Python, C++, Java, Javascript, CSS, HTML	9 M	10 projets par langage, de plus de 1 000 LdC chacun, sans le contenu des commentaires	

Temps de mouvement

Le critère de « Performance » favorise la rapidité de saisie des caractères spéciaux avant ou après des lettres normales (non accentuées) ou un espace. Cela nécessite de pouvoir estimer la durée d'un mouvement entre tout emplacement de lettre et tout emplacement destiné à accueillir des caractères spéciaux, dans les deux sens. Il existe de tels jeux de données pour des séquences de lettres simples, mais ils n'incluent pas les emplacements avec modificateurs (AltGr, Shift, AltGr+Shift).

Nous avons donc conduit une étude externalisée à grande échelle (*crowdsourcing*) afin d'obtenir ces données de durées. Nous nous sommes intéressés à tous les mouvements entre les emplacements de lettres fixes et les emplacements destinés aux caractères spéciaux, dans les deux sens, sur des claviers classiques à 48 touches (voir Figure 2). Plus précisément :

- les **emplacements de lettres** correspondent aux touches alphabétiques classiques du clavier AZERTY, avec ou sans le modifieur Shift (a-z en minuscules et majuscules, sans accents) et à la barre d'espace ;
- les **emplacements pour caractères spéciaux** correspondent aux 22 touches du clavier ne contenant pas de lettres, sans modifieurs ou avec le modifieur Shift, et aux 48 caractères du clavier avec les modifieurs AltGr et AltGr+Shift.

L'ensemble correspond à 7 560 séquences possibles d'emplacements. Afin d'obtenir des durées généralisables au-delà de nos participants individuels, nous avons recueilli des données d'au moins trois participants différents pour chacune de ces séquences. En raison du très grand nombre de tests à effectuer, nous avons recruté un large panel international de participants via deux canaux : (1) plus de 630 participants ont été recrutés via la plateforme participative Crowdfunder⁷ ; (2) environ 270 participants ont été recrutés bénévolement via une annonce sur une page Internet dédiée à l'évaluation de la saisie de texte. Afin de pouvoir recruter le plus de participants possible, les instructions étaient présentées en anglais.

Avant de commencer l'étude, notre programme détecte la disposition des caractères sur le clavier utilisé par le participant. Le participant doit ensuite effectuer un pré-test dans lequel il doit retranscrire 10 phrases en Anglais, afin d'établir sa vitesse de saisie de référence.

L'étude à proprement parler consiste en une série de tâches de saisie de 10 caractères. Au début d'une tâche, un stimulus est présenté au participant consistant en deux séquences prononçables (pseudo-syllabes) de quatre lettres en minuscules ou espace, séparées par un caractère spécial. Ce caractère spécial est représenté sous la forme d'un certain nombre de modificateurs et du caractère correspondant à l'emplacement non modifié sur la touche correspondante du clavier du participant (CF exemple Figure 3). La tâche du participant consiste à saisir ces lettres et caractère, dans l'ordre, sans erreur, et le plus rapidement possible.

Les pseudo-syllabes utilisées dans les tâches ont été pré-générées avant le début de l'étude, et les séquences correspondant à des mots existants (en Anglais) ou imprononçables ont été retirées à la main. La présence de pseudo-syllabes réalistes permet de garantir que le participant a utilisé sa stratégie habituelle de saisie avant et après le caractère spécial central, tout en minimisant les effets de familiarité avec des mots existants.

You are on text 1/20:



Dans cet exemple nous avons recueilli des données de performance pour deux transitions : de la lettre 'w' à l'emplacement correspondant à [Shift+AltGr+f] sur le clavier du participant, et de cet emplacement à la barre d'espace (représentée par le crochet horizontal).

Pour chaque séquence, le participant doit effectuer 10 saisies sans erreur ; à chaque erreur la saisie est ignorée, et le participant doit la recommencer jusqu'à l'effectuer sans erreur. L'utilisation de la touche 'Retour arrière' (⌫) ou des touches directionnelles est aussi considérée comme une erreur.

Après chaque saisie sans erreur, le programme enregistre (1) le temps écoulé entre la saisie de la dernière lettre de la première pseudo-syllabe et la saisie complète du caractère central, et (2) le temps écoulé entre la saisie du caractère central et la première lettre de la deuxième pseudo-syllabe. Ainsi, chaque tâche fournit des données de durées pour deux séquences d'emplacements.

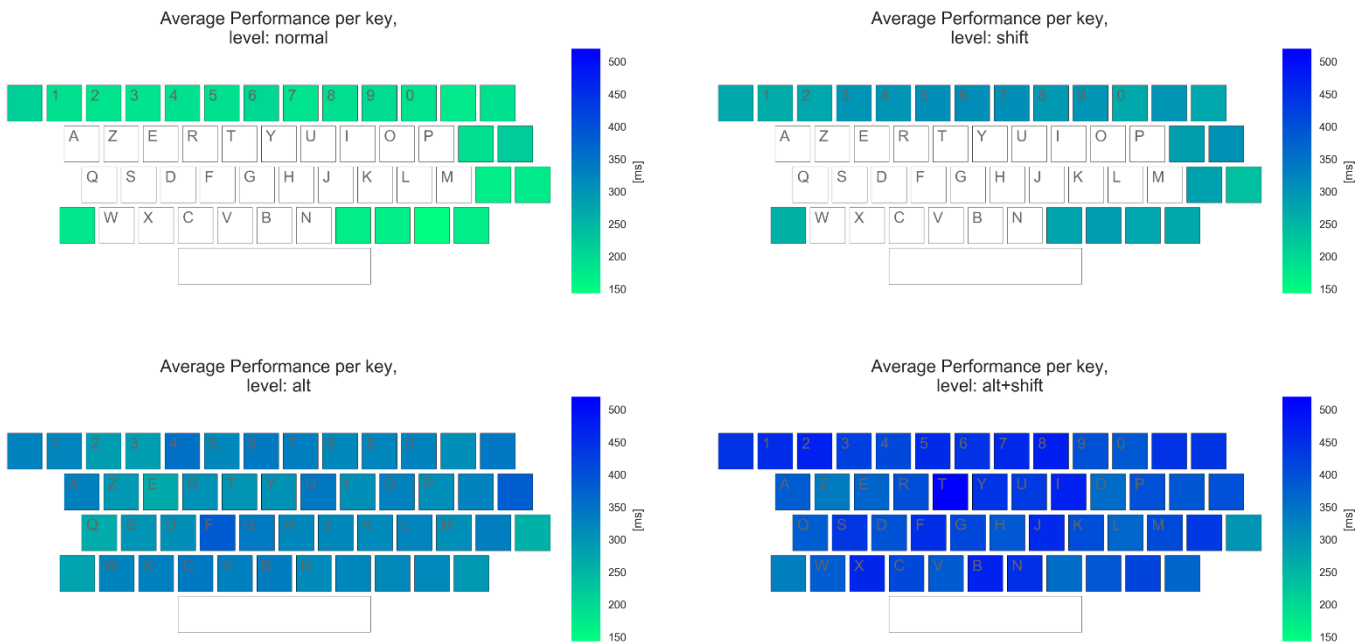
Le nombre de stimuli par participant varie selon qu'il est rémunéré (Crowdfunder, 20 stimuli) ou non (10 stimuli). Pour chaque séquence possible, nous avons recueilli les données d'au moins 3 participants, la plupart des séquences ayant été saisie par 4 ou 5 participants.

⁷ <https://www.crowdfunder.com/>

Les mesures recueillies ont été traitées comme suit :

- La moyenne des durées des 5 meilleures saisies de chaque participant sur chaque séquence est calculée, afin de filtrer les essais durant lesquels le participant était distrait ou en train d'apprendre la séquence de caractères.
- Cette moyenne est multipliée par le ratio entre la vitesse de saisie du participant, mesurée lors du pré-test, et la vitesse moyenne de saisie de tous les participants. Cela a pour effet de réduire les durées mesurées des participants plus lents que la moyenne, et inversement, et ainsi d'éviter aux participants très lents ou très rapides de biaiser les données.
- Après inspection de la distribution des valeurs ainsi obtenues, les données des utilisateurs dont les durées moyennes sont exceptionnellement hautes (> 1 200 ms) ou basses (< 50 ms) sont exclues.
- Enfin, pour chaque séquence, la moyenne des données de chaque utilisateur restant l'ayant effectuée est utilisée comme valeur t dans le calcul du critère de Performance.

La Figure 4 représente les performances obtenues pour chaque emplacement. Il est important de noter que sont montrées ici les *moyennes* des durées depuis et vers chacun des emplacements représentés (les couleurs encodent des durées en millisecondes) ; chaque séquence, d'une lettre vers un caractère spécial ou inversement, correspond à une valeur différente dans les calculs de l'optimiseur.



Similarités entre caractères

Le but du critère « Associations » est de favoriser la proximité physique entre des caractères similaires. Nous nous attendons à ce que cela facilite la découverte et l'apprentissage de la nouvelle disposition : une fois que la nouvelle localisation d'un caractère est apprise, les caractères similaires seront trouvés plus rapidement par l'utilisateur s'ils sont situés à proximité.

Nous avons défini plusieurs critères ad-hoc de similarité, et avons assigné un poids ($0 < w \leq 1$) à chacun :

- Majuscules ($w=1$), quand un certain caractère est la version en majuscule d'un autre, p. ex. œ et Œ.
- Proximité sémantique ($w=0,9$), quand des caractères ont des significations proches. Par exemple, les caractères $\cdot \times *$ peuvent représenter une multiplication, et $/ \div$ une division.

- Inclusion ($w=0,9$), quand un caractère est inclus dans un autre: a^à, o œ, c ç, r ®, etc.
- Complétion ($w=0,9$), quand des caractères se complètent: (), [], "", «», ≤≥, etc.
- Usage ($w=0,7$), quand des caractères sont déjà associés dans les usages ou la pratique: n ~, c ,, etc.
- Alphabet ($w=0,6$), quand un caractère spécial est l'équivalent d'une lettre française dans un alphabet différent : ß et s, ι et i, etc.
- Groupements ($w=0,6$), quand un groupe de caractères peut être associé à un usage particulier, p. ex. les symboles monétaires, les signes de ponctuation, les tirets, etc.
- Similarité visuelle ($w=0,5$), quand des caractères se ressemblent visuellement, p. ex. 8 et ∞, ° et °, etc.
- Similarité phonétique ($w=0,4$), quand des caractères se prononcent de manière semblable, totalement ou en partie, p. ex z et j, e et € (euro), r et √ (racine).

Quand deux caractères sont liés par plus d'un de ces critères, nous assignons à cette association le poids le plus élevé. Par exemple, « et < se ressemblent (visuel : 0,5), sont tous les deux des guillemets (groupement : 0,6) et ont des significations très proches, à savoir commencer un dialogue ou une citation (sémantique : 0,9). Le poids de l'association entre « et < sera donc 0,9.

Définir des similarités entre tous les caractères ainsi que l'importance de ces similarités peut rapidement devenir un processus subjectif, c'est pourquoi nous ne l'avons pas entrepris de manière exhaustive. En conséquence, « Associations » est essentiellement un critère indicatif qui favorise la proximité des caractères les plus manifestement semblables durant les optimisations.

Distance entre les emplacements

La distance entre deux emplacements sur le clavier (d pour « Familiarité » et « Associations ») prend en compte la distance physique entre les touches ainsi que la différence de modificateurs nécessaires à leur saisie.

Il est présumé que que les utilisateurs naviguent visuellement dans une disposition de clavier en termes de rangées et de colonnes, plutôt que dans l'espace euclidien. Ainsi, la distance entre deux touches du clavier physique est calculée selon la méthode dite de Manhattan : la somme des différences de rangées et de colonnes entre ces deux touches.

À cette distance s'ajoute un score représentant la différence de modificateurs entre les deux emplacements considérés, qui dépend du critère évalué. Pour le calcul de "Familiarité", il est présumé que les utilisateurs explorent les différents niveaux de modificateurs dans l'ordre décroissant de leur fréquence d'usage : pas de modificateur, puis Shift, AltGr, et enfin AltGr+Shift. La distance entre les touches est alors incrémentée de 1 pour chaque niveau d'écart ; par exemple, une différence de Shift à AltGr+Shift incrémente le score de 2. Pour "Associations", seul le nombre de modificateurs est considéré ; par exemple, une différence de Shift à AltGr+Shift incrémente le score de 1.

Le résultat est normalisé entre 0 et 1, 1 correspondant à la distance maximale entre deux emplacements.

Ergonomie

Notre approche vise à minimiser les chances de troubles musculo-squelettiques tels que le syndrome du canal carpien, causé par l'extension et la compression du nerf médian dues à des postures extrêmes du poignet et des doigts ainsi qu'à des mouvements répétitifs. L'adduction et l'extension du poignet, de même que l'étirement et la flexion des doigts, font partie des mouvements les plus à risque [1, 3].

Le critère d'Ergonomie modélise le coût ergonomique de chaque séquence d'emplacements sur le clavier en prenant en compte séparément la touche et les modificateurs.

Concernant la touche, l'optimiseur tente de minimiser :

1. l'adduction du poignet causée par des mouvements vers les touches les plus latérales du clavier ;
2. l'extension du poignet causée par des mouvements vers la rangée la plus haute du clavier.

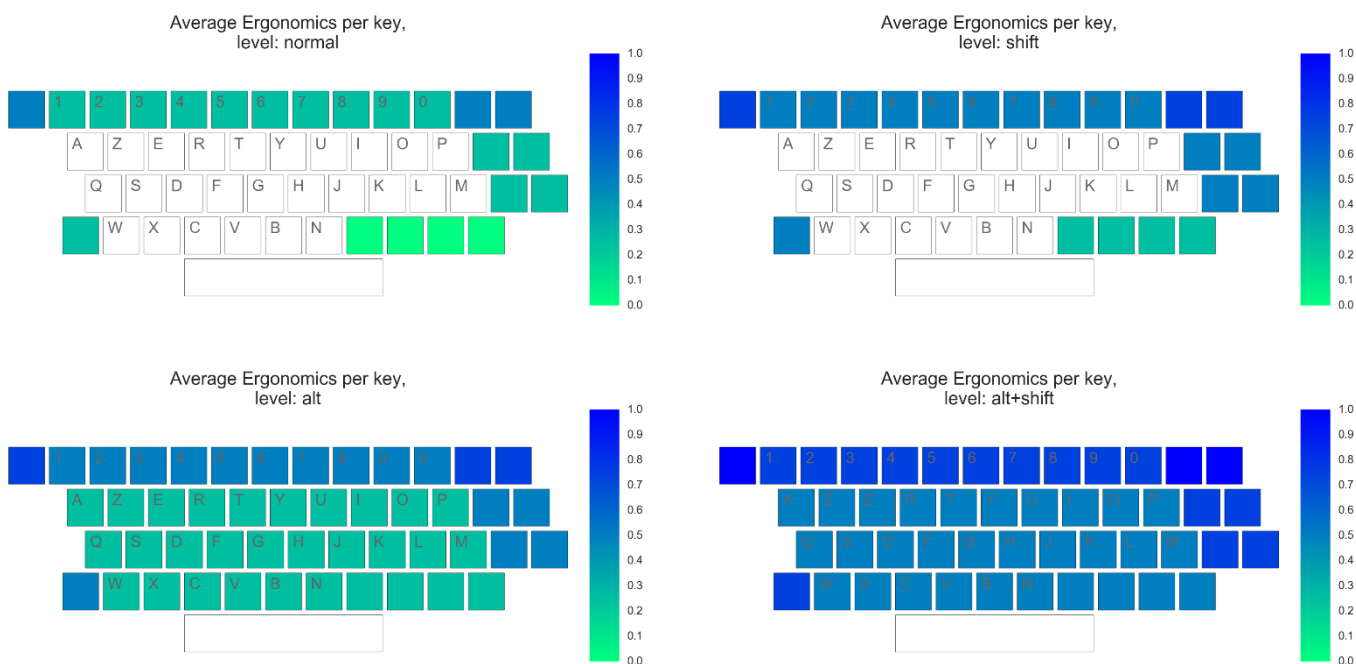
Concernant les modificateurs, l'optimiseur tente de minimiser :

3. la flexion du poignet pour atteindre les modificateurs ;
4. l'extension des doigts pour atteindre une touche éloignée des modificateurs ;
5. l'extension des doigts lorsque deux modificateurs (AltGr+Shift) sont nécessaires.

Il est important de noter que le risque ergonomique de chacun de ces cas dépend de la stratégie de saisie de l'utilisateur. Par exemple, l'adduction du poignet est nécessaire pour atteindre les touches les plus latérales du clavier avec le système dit de *touch-typing*. Cependant, il est également possible de déplacer la main entière afin d'accéder à ces touches avec peu ou pas de rotation latérale du poignet, ce qui produit un mouvement plus lent mais ergonomiquement moins risqué. Dans l'impossibilité de considérer toutes les stratégies de saisie existantes à la fois, le calcul des coûts ergonomiques est basé sur la méthode de *touch-typing* classique, qui est la méthode de saisie la plus connue et avec laquelle de nombreuses autres méthodes partagent des caractéristiques.

Le coût ergonomique e est calculé, pour chaque séquence de deux emplacements, sous la forme d'un indice (entier) de sévérité entre 1 et 4. Cet indice pénalise les déplacements vers les zones extrêmes gauche et droite du clavier (1 point), les mouvements vers la rangée du haut (1 point), et les mouvements nécessitant l'utilisation d'un (1 point) ou deux (2 points) modificateurs depuis un emplacement ne nécessitant pas de modifieur. Ce score est ensuite normalisé entre 0 et 1, 1 correspondant au coût ergonomique maximal.

La distribution de ces coûts est illustrée dans la figure suivante.



Il est important de noter que cette figure représente le coût ergonomique *moyen* d'un déplacement entre l'emplacement représenté et chacune des lettres (sans modificateur) dans les deux sens, le coût ergonomique n'étant pas symétrique.

Références

1. T. K. Amell and S. Kumar. 2000. Cumulative trauma disorders and keyboarding work. *International journal of industrial ergonomics* 25, 1: 69–78.
2. R. E. Burkard and J. Offermann. 1977. Entwurf von Schreibmaschinentastaturen mittels quadratischer Zuordnungsprobleme. *Zeitschrift für Operations Research* 21, 4: B121–B132.
3. Mircea Fagarasanu and Shrawan Kumar. 2003. Carpal tunnel syndrome due to keyboarding and mouse tasks: a review. *International journal of industrial ergonomics* 31, 2: 119–136.
4. Maximilian John and Andreas Karrenbauer. 2016. A Novel SDP Relaxation for the Quadratic Assignment Problem Using Cut Pseudo Bases. In *Lecture Notes in Computer Science*. 414–425.
5. Andreas Karrenbauer and Antti Oulasvirta. 2014. Improvements to keyboard optimization with integer programming. In *Proceedings of the 27th annual ACM symposium on User interface software and technology - UIST '14*. <https://doi.org/10.1145/2642918.2647382>
6. L. Kaufman and F. Broeckx. 1978. An algorithm for the quadratic assignment problem using Bender's decomposition. *European journal of operational research* 2, 3: 207–211.

Annexe F (informative)

Élaboration de la disposition BÉPO

La disposition BEPO a été créée par une communauté d'utilisateurs de profils très variés, aussi bien professionnels de l'informatique que non professionnels. Leurs besoins reflétaient cette variété : écriture du français ou de langues étrangères, typographie soignée, écriture de textes mathématiques simples mais aussi rapidité de la frappe, confort pour dactylographier durant de longues périodes et prévention des troubles musculo-squelettiques. Cette communauté s'est inspiré de la démarche du Prof. Dvorak, créateur de la disposition qui porte son nom, destinée à l'anglais, pour créer cette disposition plus adaptée aux francophones.

La méthode a suivi plusieurs étapes :

1. Évaluation de l'accessibilité de chaque touche du clavier physique. Cette évaluation a été réalisée par duel de touche, c'est-à-dire qu'un panel d'utilisateurs a classé les touches des plus accessibles aux moins accessibles par comparaison entre elles, deux par deux.
2. Création d'un corpus représentatif basé sur des articles wikipédia et des textes personnels (emails, historique de conversations sur des médias sociaux...)
3. Création de statistiques par symboles, digrammes et trigrammes sur le corpus
4. Création par algorithme d'une première disposition en tenant compte à la fois de l'accessibilité des touches, des statistiques sur le corpus, et de règles de placement destinées à faciliter l'apprentissage telles que :
 1. Maximiser l'alternance main droite / main gauche
 2. Concentrer la frappe sur et autour de la rangée de repos pour limiter les mouvements
 3. Répartir la charge sur tous les doigts
 4. Toute majuscule se trouve en niveau 2 par rapport à sa minuscule ;
 5. Les caractères membres d'une paire – (), {}, <>, «», [], "" – sont toujours sur des touches adjacentes, l'ouvrant à gauche, le fermant à droite.
 6. Les opérateurs mathématiques de base (addition, soustraction, multiplication, division, égalité...) sont regroupés. Si il existe une variante (pour la division / et ÷) elle est placée sur la même touche en groupe 2
 7. Dans la mesure du possible les accents morts sont tous en groupe 2 placés sur la touche la plus logique possible qui leur correspond, rendant leur accès simple et logique même pour des accents peu utilisés. Ils ne sont jamais placés sur les combinaisons [Altgr]+[Maj.] sur la main droite, pour garantir qu'ils soient réellement utilisables ;
 8. L'écriture du français de qualité est facilitée indépendamment des logiciels utilisés :
 1. accès aux guillemets français : « » et « » ;
 2. accès au tiret sur cadratin « — » et au « ... » ;
 3. majuscules accentuées les plus fréquentes en frappe directe ;

4. présence de l'espace insécable et placement de signes qui le nécessitent avec le même modificateur que lui : l'espace insécable est sur [Maj.]+[espace] ; les « ; », « : », « ! » et « ? » sont tous en position [Maj.].
9. accès à tous les signes nécessaires à la programmation dans la logique de leur utilisation, sans diminuer la facilité d'usage du français (ce qui nécessite quelques concessions).
5. Correction manuelle pour assurer le respect des règles édictées ci-dessus et n'ayant pas pu être réalisées automatiquement
6. Création des pilotes et tests par la communauté pendant plusieurs mois
7. Amélioration de l'algorithme ou des corrections manuelles
8. Validation terminale

Annexe G (normative)

Points de codage des lettres diacritées prises en charge

	grave	aigu	circonflexe	tilde	macron	brève	point en chef	tréma	rond en chef	double aigu	caron	virgule souscrite	cédille	ogonek	barre couvrante	oblique couvrante	double grave	brève renversée	point souscrit	macron souscrit
A	U+00C0	U+00C1	U+00C2	U+00C3	U+0100	U+0102	U+0226	U+00C4	U+00C5		U+01CD			U+0104		U+023A	U+0200	U+0202	U+1EA0	
a	U+00E0	U+00E1	U+00E2	U+00E3	U+0101	U+0103	U+0227	U+00E4	U+00E5		U+01CE			U+0105			U+0201	U+0203	U+1EA1	
B							U+1E02								U+0243				U+1E04	U+1E06
b							U+1E03								U+0180				U+1E05	U+1E07
C		U+0106	U+0108				U+010A				U+010C		U+00C7			U+023B				
c		U+0107	U+0109				U+010B				U+010D		U+00E7			U+023C				
D							U+1E0A				U+010E		U+1E10		U+0110				U+1E0C	U+1E0E
d							U+1E0B				U+010F		U+1E11		U+0111				U+1E0D	U+1E0F
E	U+00C8	U+00C9	U+00CA	U+1EBC	U+0112	U+0114	U+0116	U+00CB			U+011A		U+0228	U+0118		U+0246	U+0204	U+0206	U+1EB8	
e	U+00E8	U+00E9	U+00EA	U+1EBD	U+0113	U+0115	U+0117	U+00EB			U+011B		U+0229	U+0119		U+0247	U+0205	U+0207	U+1EB9	
F							U+1E1E													
f							U+1E1F													
G		U+01F4	U+011C		U+1E1E	U+011E	U+0120				U+01E6		U+0122		U+01E4					
g		U+01F5	U+011D		U+1E1F	U+011F	U+0121				U+01E7		U+0123		U+01E5					
H			U+0124				U+1E22	U+1E26			U+021E		U+1E28		U+0126				U+1E24	
h			U+0125				U+1E23	U+1E27			U+021F		U+1E29		U+0127				U+1E25	U+1E96

	grave	aigu	circonflexe	tilde	macron	brève	point en chef	tréma	rond en chef	double aigu	caron	virgule souscrite	cétille	ogonek	barre couvrante	oblique couvrante	double grave	brève renversée	point souscrit	macron souscrit
I	U+00CC	U+00CD	U+00CE	U+0128	U+012A	U+012C	U+0130	U+00CF			U+01CF			U+012E	U+0197		U+0208	U+020A	U+1ECA	
i	U+00EC	U+00ED	U+00EE	U+0129	U+012B	U+012D	U+01313	U+00EF			U+01D0			U+012F			U+0209	U+020B	U+1ECB	
J			U+0134												U+0248					
j			U+0135								U+01F0				U+0249					
K		U+1E30									U+01E8		U+0136						U+1E32	U+1E34
k		U+1E31									U+01E9		U+0137						U+1E33	U+1E35
L		U+0139					U+013F				U+013D		U+013B		U+023D	U+0141			U+1E36	U+1E3A
l		U+013A					U+0140				U+013E		U+013C		U+019A	U+0142			U+1E37	U+1E3B
M		U+1E3E					U+1E40												U+1E42	
m		U+1E3F					U+1E41												U+1E43	
N	U+01F8	U+0143		U+00D1			U+1E44						U+0145					U+0147	U+1E46	U+1E48
n	U+01F9	U+0144		U+00F1			U+1E45						U+0146					U+0148	U+1E47	U+1E49
O	U+00D2	U+00D3	U+00D4	U+00D5	U+014C	U+014E	U+022E	U+00D6		U+0150	U+01D1			U+01EA		U+00D8	U+020C	U+020E	U+1ECC	
o	U+00F2	U+00F3	U+00F4	U+00F5	U+014D	U+014F	U+022F	U+00F6		U+0151	U+01D2			U+01EB		U+00F8	U+020D	U+020F	U+1ECD	
P		U+1E54					U+1E56													
p		U+1E55					U+1E57													
R		U+0154					U+1E58				U+0158		U+0156		U+024C		U+0210	U+0212	U+1E5A	U+1E5E
r		U+0155					U+1E59				U+0159		U+0157		U+024D		U+0211	U+0213	U+1E5B	U+1E5F
S		U+015A	U+015C				U+1E60				U+0160	U+0218	U+015E						U+1E62	
s		U+015B	U+015D				U+1E61				U+0161	U+0219	U+015F						U+1E63	
T							U+1E6A				U+0164	U+021A	U+0162		U+0166	U+023E			U+1E6C	U+1E6E
t							U+1E6B	U+1E97			U+0165	U+021B	U+0163		U+0167				U+1E6D	U+1E6F

NF Z 71-300

	grave	aigu	circflexe	tilde	macron	brève	point en chef	tréma	rond en chef	double aigu	caron	virgule souscrite	cétille	ogonek	barre couvrante	oblique couvrante	double grave	brève renversée	point souscrit	macron souscrit
U	U+00D9	U+00DA	U+00DB	U+0168	U+016A	U+016C		U+00DC	U+016E	U+0170	U+01D3			U+0172	U+0244		U+0214	U+0216	U+1EE4	
u	U+00F9	U+00FA	U+00FB	U+0169	U+016B	U+016D		U+00FC	U+016F	U+0171	U+01D4			U+0173			U+0215	U+0217	U+1EE5	
V				U+1E7C															U+1E7E	
v				U+1E7D															U+1E7F	
W	U+1E80	U+1E82	U+0174				U+1E86	U+1E84											U+1E88	
w	U+1E81	U+1E83	U+0175				U+1E87	U+1E85	U+1E98										U+1E89	
X							U+1E8A	U+1E8C												
x							U+1E8B	U+1E8D												
Y	U+1EF2	U+00DD	U+0176	U+1EF8	U+0232		U+1E8E	U+0178							U+024E				U+1EF4	
y	U+1EF3	U+00FD	U+0177	U+1EF9	U+0233		U+1E8F	U+00FF	U+1E99						U+024F				U+1EF5	
Z		U+0179	U+1E90				U+017B				U+017D				U+01B5				U+1E92	U+1E94
z		U+017A	U+1E91				U+017C				U+017E				U+01B6				U+1E93	U+1E95
Æ		U+01FC			U+01E2															
æ		U+01FD			U+01E3															
3											U+01EE									
3											U+01EF									
f							U+1E9B									U+1E9C				

Bibliographie

CWA 13873 Information Technology - Multilingual European Subsets in ISO/IEC 10646-1

CWA 16810 Functional Multilingual Extensions to European Keyboard Layouts, 2010

SFS 5966 Keyboard layout. Finnish-Swedish multilingual keyboard setting / Näppäimistökaavio. Suomalais-ruotsalainen monikielinen näppäimistöasettelu, 2008

DIN 2137 -1 Tastaturen für die Daten- und Texteingabe – Teil 1: Deutsche Tastaturbelegung, 2012

DIN 2137-2 Tastaturen für die Daten- und Texteingabe – Teil 2: Zusätzliche Anforderungen, 2012