

Cours sur le codage des caractères

Thème représentation des données : types et valeurs de base



***** Introduction

Le but de ce chapitre est de comprendre comment les textes sont représentés dans un ordinateur et d'apprendre à manipuler le type str de Python qui leur est dédié.



Crédits

Le contenu de ce cours et certains exercices sont directement inspirés du chapitre 21 du Manuel de pre*mière NSI* chez Ellipses.

Chaînes de caractères en Python

Méthode

Une chaîne de caractères est une séquence éventuellement vide de caractères. Chaque caractère est une chaîne de longueur 1. Nous étudierons la représentation informatique d'un caractère un peu plus loin.

En Python, les chaînes de caractères définissent le type str. La longueur d'une chaîne de caractères s'obtient avec la fonction len.

```
In [6]: a = 1
In [7]: type(a)
Out[7]: int
In [8]: b = str(a)
In [9]: b, type(b)
Out[9]: ('1', str)
In [10]: len(b), len('un'), len('')
Out[10]: (1, 2, 0)
```

- Les chaînes de caractères partagent certaines propriétés avec les tableaux de type list et les *p*uplets de type tuple:
 - Une chaîne de caractères chaine peut être vue comme un tableau de caractères indexés de 0 à len(chaine) - 1 de gauche à droite et de -1 à -len(chaine) de droite à gauche. L'opérateur crochet permet d'accéder au caractère d'index i avec la syntaxe chaine[i] ou à la tranche de caractères d'index appartenant à l'intervalle [i; j[avec la syntaxe chaine [i: j] $si 0 \le i \le j$ ou à l'intervalle j;i avec la syntaxe chaine [i:j:-1] $si-1 \ge i \ge j$.

Le découpage en tranches et les index négatifs peuvent être pratiques pour manipuler les



chaînes de caractères mais ne sont pas au programme de première NSI.

```
In [26]: chaine = 'XYT'
Out[26]: ('X', 'Y', 'T')

In [27]: chaine[0], chaine[1], chaine[len(chaine)-1]
Out[27]: ('X', 'Y', 'T')

In [28]: chaine[-1], chaine[-2], chaine[-len(chaine)]
Out[28]: ('T', 'Z', 'X')

In [29]: chaine[1:3], chaine[-1:-len(chaine):-1]
Out[29]: ('YZ', 'TZY')
```

- On peut itérer sur une chaîne de caractères avec une boucle for.

```
In [18]: for c in 'XY':
    ...: print(c)
    ...:
X
Y
```

- On peut concaténer deux chaînes pour créer une nouvelle chaîne avec l'opérateur +.

```
In [19]: a, b, c = 'belle','-','ile'
In [20]: a + b + c
Out[20]: 'belle-ile'
```

Une chaîne de caractères d'identifiant chaine est un objet Python qui intègre de nombreuses méthodes accessibles avec la notation pointée chaine.methode(). On peut les découvrir en saisissant dir(chaine) ou dans la documentation en ligne:

https://docs.python.org/3/library/stdtypes.html#text-sequence-type-str

```
In [24]: a = 'un beau marin'
In [25]: a.find('beau')
Out[25]: 3
In [26]: a.replace('b','v')
Out[26]: 'un veau marin'
In [27]: a.upper()
Out[27]: 'UN BEAU MARIN'
In [28]: 'un beau marin'.replace(' ', '')
Out[28]: 'unbeaumarin'
In [29]: dir(a)
Out[29]: ['__add__', '__class__', '__contains__',....]
```



Exercice 1

1. Compléter le code de la fonction miroir qui prend en paramètre une chaîne de caractères, pour qu'elle retourne la chaîne de caractères renversée :

```
In [33]: miroir('Suis-je toujours la plus belle?')
Out[33]: '?elleb sulp al sruojuot ej-siuS'
```

2. Écrire une fonction palindrome (chaine) qui retourne un booléen indiquant si la chaîne de caractères est un palindrome. Cette fonction ne doit pas tenir compte des espaces. Si la fonction parcourt toute la chaîne passée en paramètre, la modifier pour qu'elle n'en parcourt que la moitié.

		<pre>palindro e sac')</pre>	ome('case	r vite c	e palindı	come ne mo	ord ni lap	e cet	
	Out[38]:	True							
• • • •	• • • • • • • • • • • • •	• • • • • • • • • • • • •	• • • • • • • • • • • •	• • • • • • • • • • • • •	• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •		• • • • • • • • • • • • •	
• • • •		• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	• • • • • • • • • • • • •	• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •		• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	• • • •
			• • • • • • • • • • • • • • • • • • •						

2 Du code ASCII à l'Unicode

Humans use text. Computers speak bytes.

Esther Nam and Travis Fischer, Character encoding and Unicode in Python

2.1 Table de codage et encodage





Point de cours 1

Une représentation informatique des caractères nécessite d'associer à chaque caractère une unique séquence d'octets. Cette conversion s'effectue à l'aide d'une table de codage et d'un encodage.

- Une table de codage ou jeu de caractères ou charset, associe un entier nommé point de code à un caractère.
- Un **encodage** associe à un **point de code** une séquence d'octets.

Remarque 1

- Table de codage et encodage sont des bijections : deux caractères distincts ont des points de code et des encodages distincts.
- Il peut exister plusieurs encodages pour une même table de codage. Par exemple la table Unicode admet les encodages UTF-8, UTF-16, UTF-32...

Par exemple le caractère '€' dont le point de code Unicode est 8364 a pour encodages (voir https: //www.compart.com/fr/unicode/U+20AC):

- 0xE2 0x82 0xAC en UTF-8 sur 3 octets notés en hexadécimal
- 0x20 0xAC en UTF-16 sur 2 octets notés en hexadécimal
- 0x00 0x00 0x20 0xAC en UTF-32 sur 4 octets notés en hexadécimal
- Avec l'internationalisation des échanges, on a besoin d'un encodage *compact* (économique en octets), *portable* (compatibilité entre les différents programmes) et *universel* (représentation de tous les caractères possibles).

Table de codage ASCII 2.2



🤁 Point de cours 2

Au début des années 1960, devant la multiplication des encodages de caractères et leurs incompatibilités mutuelles, l'ANSI (American National Standards Institute), définit une norme appelée ASCII (American Standard Code for Information Interchange).

Ce standard permet de coder 128 caractères sur 7 bits $(2^7 = 128)$, le bit de poids fort étant réservé à des contrôles d'erreur : ce bit de parité est choisi pour que le nombre total de bits à 1 dans l'octet soit toujours pair.

La table de codage **ASCII** représentée en Annexe 13 contient :

- les lettres de l'alphabet latin en majuscule et minuscule et les chiffres de 0 à 9;
- des signes de ponctuation et des opérateurs arithmétiques;
- des caractères spéciaux (tabulation, retour chariot, nouvelle ligne ...) et des caractères de contrôle non imprimables pour des protocole de communication et des contrôles de périphériques (Fin de transmission, EOT, demande de transmission ENQ...).



Méthode

En Python, la fonction ord associe à un caractère son point de code ASCII (en fait Unicode) et la fonction chr est sa réciproque :

```
In [39]: ord('a'), ord('z'), ord('A'), ord('Z')
Out[39]: (97, 122, 65, 90)

In [40]: chr(65), chr(90)
Out[40]: ('A', 'Z')

In [41]: [chr(ord('a') + k) for k in range(26)]
Out[41]: ['a', 'b', 'c', .....,'y', 'z']

In [42]: ''.join([chr(ord('a') + k) for k in range(26)])
Out[42]: 'abcdefghijklmnopqrstuvwxyz'
```

Les opérateurs de comparaison entre caractères==, < et > comparent les points de code.

```
In [3]: 'a' < 'A'
Out[3]: False
In [4]: ord('a'), ord('A')
Out[4]: (97, 65)</pre>
```

Pour les chaînes de caractères, la comparaison s'effectue de gauche à droite caractère par caractère. En cas d'inclusion d'une chaîne dans l'autre, la plus petite est celle qui est incluse. On parle d'**ordre alphabétique**.

Si on compare deux entiers convertis en chaînes de caractères l'ordre alphabétique peut ne pas donner le même résultat que l'ordre numérique.

```
In [7]: 'abc' < 'abcd'
Out[7]: True

In [8]: 'bbc' > 'ab'
Out[8]: True

In [9]: '2' > '10'
Out[9]: True
```

Exercice 2

1. Sans utiliser l'opérateur <= directement sur les caractères, écrire une fonction caractère_plus_petit(c1, c2) qui retourne True si le point de code du caractère c1 (renvoyé par la fonction ord) est inférieur ou égal au point de code du caractère c2.



2. Sans utiliser l'opérateur <= directement sur les chaînes de caractères, écrire une fonction
chaine_plus_petite(chaine1, chaine2) qui retourne True si la chaîne de caractères chaine1 est inférieure ou égale à la la chaîne de caractères chaine2 dans l'ordre alphabétique.
3. Lequel de ces tableaux de chaînes de caractères est trié en ordre croissant?
a. ['Chat', 'Chien', 'Cheval', 'Cochon']
<pre>b. ['Chat', 'Cheval', 'Chien', 'Cochon']</pre>
c. ['Chien', 'Cheval', 'Cochon', 'Chat']
<pre>d. ['Cochon', 'Chien', 'Cheval', 'Chat']</pre>
Exercice 3

1. Définir le chiffrement d'une chaîne de caractères par l'algorithme rot13. Ressources: https://fr.wikipedia.org/wiki/ROT13

- 2. L'image par rot13 du caractère 'H' est 'E'.
 - on calcule d'abord le rang alphabétique d'un caractère :



```
In [56]: ord('R') - ord('A')
Out [56]: 17
```

• puis on ajoute 13 à ce rang et on prend le reste dans la division euclidienne par 26

```
In [59]: (ord('R') - ord('A') + 13) % 26
Out[59]: 4
```

• enfin on retrouve le rang du caractère associé au rang alphabétique calculé :

```
In [60]: chr(ord('A') + 4)
Out[60]: 'E'
```

en majuscules avec chaine.upper()) passée en paramètre, avec l'algorithme rot13.	
	• • • •
	••••
	• • • •

Exercice 4 Défi Turing problème 165

Le fichier dico.txt contient 323 471 mots français non accentués. En associant à chaque lettre son rang dans l'alphabet (a=1, b=2, c=3, ..., z=26), puis en multipliant entre elles toutes les lettres d'un mot, on obtient un nombre

obticit un nombre.
Par exemple, "chaud" = $3 \times 8 \times 1 \times 21 \times 4 = 2016$.
Si l'on applique ce procédé à tous les mots du fichier dico.txt, quelle est l'année du troisième millénaire qui sera atteinte le plus souvent?
•••••••••••••••••••••••••••••••

Plus de défis sur http://apprendre-en-ligne.net/turing/enonces.php.



Tables de codages ISO-8859



Point de cours 3

La table ASCII possédait les propriétés de compacité et de portabilité mais pas celle d'universalité. Par exemple les caractères accentués de l'alphabet latin ne figurent pas dans la table ASCII.

Pour y remédier, l'ISO (Organisation internationale de normalisation) a proposé la norme ISO-8859 qui étend la table ASCII en utilisant le huitième bit. Sur un octet, on peut ainsi représenter deux fois plus de caractères, soit $2^8 = 256$.

La norme ISO 8859 comprend seize tables de codages, certes compatibles entre elles et avec ASCII sur les 128 premiers caractères, mais avec 256 caractères il n'est pas possible d'écrire un texte avec un mélange de caractères arabes et russes.

La table de codage ISO 8859-1 ou Latin1 est la plus utilisée en Occident. Les applications Microsoft utilisent une variante de Latin1 nommé cp1252 où les caractères de contrôle de point de code entre 128 et 159 ont été remplacés par des caractères imprimables comme le symbole de l'euro €.

La multiplicité des encodages a posé des problèmes d'interopérabilité avec l'internationalisation des échanges informatiques au-delà des aires de proximité linguistique. Qui n'a jamais reçu de courriel avec d'étranges caractères comme ci-dessous?

Je transf??re le message ?? Valentin

L'encodage du message n'étant pas reconnu par le client de messagerie, les caractères accentués è et à ont été remplacés par des signes ?.



Exercice 5 QCM E3C 2

- 1. Sur une page web qui s'affiche sur notre navigateur on peut lire :
 - « En consÃ@quence, l'AssemblÃ@e Nationale reconnaît et dÃ@clare, en prÃ@sence » Quelle peut être la cause des affichages étranges de cette page?
 - a. l'encodage des caractères n'est pas celui attendu par le navigateur
 - **b.** le texte original est en japonais
 - c. la taille des caractères n'est pas celle attendue par le navigateur
 - d. la connexion à Internet présente des coupures
- 2. Le code ASCII permet de représenter en binaire les caractères alphanumériques. Quel est son principal inconvénient?
 - a. Il utilise beaucoup de bits.
 - **b.** Il ne différencie pas les majuscules des minuscules.
 - **c.** Il ne représente pas les caractères accentués.
 - **d.** Il n'est pas compatible avec la plupart des systèmes informatiques.

Table de codage universelle et encodages Unicode 2.4





Point de cours 4

Pour assurer l'universalité de la représentation des caractères, l'ISO a défini une table de codage universelle, l'*Universal Character Set* sous la norme **ISO-10646**. Cette norme a défini une plage de **points de codes** pouvant être associés à 1 114 112 caractères. Les points de code sont codés sur 20 ou 21 bits. Depuis 1991, le Consortium Unicode collabore avec l'ISO pour développer le Standard Unicode qui partage la même plage de points de codes que la norme **ISO-10646** avec des informations complémentaires (normalisation de forme). En mars 2020, 137 929 caractères sont recensés.

Chaque point de code est de la forme U+xxxx où chaque chiffre x est un caractère hexadécimal (base 16) avec au moins quatre chiffres.

Il est possible d'encoder chaque point de code sur 4 octets mais des encodages plus compacts ont été imaginés dans la norme Unicode. En effet, il suffit d'un octet pour stocker les caractères ASCII et de deux octets pour les plus courants dont le point de code est compris entre 0 et $2^{16} - 1 = 65\,535$.

Les encodages **Unicode** sont notés **UTF**-*n* où *n* est le nombre minimal de bits pour représenter un point de code.

L'encodage Unicode le plus courant est UTF-8.



En Python 3, l'encodage par défaut des fichiers sources est UTF-8. Si le fichier n'est pas encodé en UTF-8 mais par exemple en cp1252, on peut avoir un message d'erreur à l'exécution :

```
Remarque 2

En Python 3, l'e mais par exemple

File "s
SyntaxErr
cp12
/dev

Pour éviter ce ty
ligne du fichier:

# coding

La meilleure soléditeur de texte
             File "script-encodage-cp1252.py", line 1
           SyntaxError: Non-UTF-8 code starting with '\xe9' in file script-encodage-
                  cp1252.py on line 1, but no encoding declared; see http://python.org
                  /dev/peps/pep-0263/ for details
```

Pour éviter ce type d'erreur, on peut placer un commentaire spécial précisant l'encodage sur la première ligne du fichier:

```
# coding: cp1252
```

La meilleure solution est tout de même de convertir le fichier source en **UTF-8**, ce que permet un bon éditeur de texte comme Notepad++.



Exercice 6 QCM E3C 2

- 1. Parmi les caractères ci-dessous, lequel ne fait pas partie du code ASCII?
 - **a.** a

b. B

c. @

- **d.** é
- 2. Laquelle de ces affirmations concernant le codage UTF-8 des caractères est vraie?
 - **a.** le codage UTF-8 est sur 7 bits
- **c.** le codage UTF-8 est sur 1 à 4 octets
- **b.** le codage UTF-8 est sur 8 bits
- **d.** le codage UTF-8 est sur 8 octets
- 3. Quel est un avantage du codage UTF-8 par rapport au codage ASCII?



- a. il permet de coder un caractère sur un octet au lieu de deux
- **b.** il permet de coder les majuscules
- c. il permet de coder tous les caractères
- d. il permet de coder différentes polices de caractères

A	
- ///	- 1
~	

Exercice 7

Sur la page https://unicode-table.com/fr/se trouve un moteur de recherche de caractère par **point** de code.

- - 4. En Python, pour saisir directement un caractère à partir de son point de code, on peut utiliser des séquences d'échappement spéciales : '\uxxxx' si le point de code peut s'écrire avec 4 chiffres hexadécimaux, ou '\Uxxxxxxxxx' s'il faut plus de quatre chiffres, en remplissant par des 0 à gauche les positions vides sur les huit possibles. Néanmoins il est plus pratique d'utiliser chr avec comme argument le point de code en décimal ou en hexadécimal.
 - a. Tester l'instruction ci-dessous dans une console Python

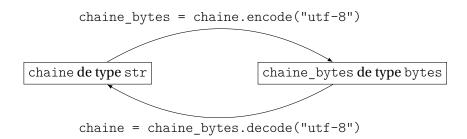
```
In [11]: print("\U0001f600")
OU [11]: .....
```

b.	Ecrire un code Python qui affiche tous les caractères dont le point de code est compris entre
	U+1F600 et U+Ff64F.



Méthode

Les méthodes encode et decode permettent de transformer une chaîne de caractères de type 'str' en séquence d'octets de type 'bytes' et réciproquement. Il faut préciser l'encodage.



Les octets d'une séquence d'octets de type bytes sont représentés par le caractère ASCII correspondant s'ils ont une valeur inférieure ou égale à 127 (7F en hexadécimal) ou par leur valeur hexadécimale préfixée de la séquence \x. Par exemple le caractère 'é' est codé en **UTF-8** sur deux octets de valeurs hexadécimales C3 et A9. En ISO-8859-1 ou Latin1, le caractère 'é' est codé sur un seul octet. On peut mettre en évidence les incompatibilités de ces deux encodages pour les caractères non ASCII.

```
In [35]: "lycée".encode("utf-8")
Out[35]: b'lyc\xc3\xa9e'
In [36]: b'lyc\xc3\xa9e'.decode("utf-8")
Out[36]: 'lycée'
In [37]: "lycée".encode("latin1")
Out [37]: b'lyc\xe9e'
In [38]: b'lyc\xe9e'.decode("utf-8")
UnicodeDecodeError: 'utf-8' codec can't decode byte 0xe9 in position 3:
    invalid continuation byte
```

Exercice 8

Le principe de l'encodage **UTF-8** est le suivant :

- Si le bit de poids fort du premier octet lu est 0 alors il s'agit d'un caractère ASCII codé sur les 7 bits restants.
- Sinon, le nombre de bits de poids forts successifs du premier octet qui sont à 1 donne le nombre d'octets sur lequel le caractère est encodé. Chaque octet suivant commence par la séquence de deux bits 10 et le point de code en binaire est encodé sur les bits qui ne sont pas utilisés pour le formatage.



Par exemple le caractère de point de code U+263A soit 9786 en décimal et $\underbrace{10 \ 011000 \ 111010}_{\text{octet 2}}^2$ en binaire est encodé sur trois octets par :

octet 1	octet 2	octet 3
$\overline{}$	$\overline{}$	$\overline{}$
111 00010	10 011000	10 111010
	\longrightarrow	$\overline{}$
format codage	format codage	format codage

Plage de points de code	Séquence d'octets (en binaire)	bits codants
U+0000 (0) à U+007F (127) (ASCII)	0xxxxxx	7 bits
U+0080 (128) à U+07FF (2047)	110xxxxx 10xxxxxx	11 bits
U+0800 (2048) à U+FFFF (65535)	1110xxxx 10xxxxxx 10xxxxxx	16 bits
U+10000 (65536) à U+10FFF (1114111)	110xxxxx 10xxxxxx 10xxxxxx 10xxxxxx	21 bits

1.	Combien de caractères peut-on encoder en UTF-8 ?
2.	Sur combien d'octets sont encodés les caractères accentués en UTF-8 ?
3.	Écrire une fonction unicode(s) qui affiche pour chaque caractère de la chaîne s, le caractère s, son point de code et son encodage UTF-8 sous forme d'octets en hexadécimal puis en binaire.
4.	Déterminer l'encodage UTF-8 en donnant les octets en décimal, en binaire et en hexadécimal des caractères suivants :
	a. le caractère @ de point de code U+0040
	b. le caractère æ de point de code U+00E6
	c. le caractère Q de point de code U+211A

5. Écrire en Python une fonction longueur (b) qui parcours une chaîne d'octets de type bytes en-



codée en UTF-8 et qui retourne le nombre de caractères représentés.
Il est interdit de convertir la séquence d'octets en chaîne de caractères avec la méthode decode

ANNEXE

Table de codage ASCII

Hex	Dec	Char		Hex	Dec	Char	Hex	Dec	Char	Hex	Dec	Char
0x00	0	NULL	null	0x20	32	Space	0x40	64	@	0x60	96	_
0x01	1	SOH	Start of heading	0x21	33	1	0x41	65	A	0x61	97	a
0x02	2	STX	Start of text	0x22	34	"	0x42	66	В	0x62	98	b
0x03	3	ETX	End of text	0x23	35	#	0x43	67	C	0x63	99	C
0×04	4	EOT	End of transmission	0x24	36	\$	0×44	68	D	0x64	100	d
0x05	5	ENQ	Enquiry	0x25	37	8	0x45	69	E	0x65	101	е
0x06	6		Acknowledge	0x26	38	&	0×46	70	F	0x66	102	f
0×07	7	BELL	Bell	0x27	39	1	0x47	71	G	0x67	103	g
0x08	8	BS	Backspace	0x28	40	(0x48	72	H	0x68	104	h
0×09	9	TAB	Horizontal tab	0x29	41)	0x49	73	I	0x69	105	i
0x0A	10	\mathbf{LF}	New line	0x2A	42	*	0x4A	74	J	0x6A	106	j
0x0B	11	VT	Vertical tab	0x2B	43	+	0x4B	75	K	0x6B	107	k
0x0C	12	FF	Form Feed	0x2C	44	,	0x4C	76	\mathbf{L}	0x6C	108	1
0x0D	13	CR	Carriage return	0x2D	45	-	0x4D	77	M	0x6D	109	m
0x0E	14	SO	Shift out	0x2E	46		0x4E	78	N	0x6E	110	n
0x0F	15	SI	Shift in	0x2F	47	/	0x4F	79	0	0x6F	111	0
0x10	16	DLE	Data link escape	0x30	48	0	0x50	80	P	0x70	112	p
0x11	17	DC1	Device control 1	0x31	49	1	0x51	81	Q	0x71	113	q
0x12	18	DC2	Device control 2	0x32	50	2	0x52	82	R	0x72	114	r
0x13	19	DC3	Device control 3	0x33	51	3	0x53	83	S	0x73	115	s
0×14	20	DC4	Device control 4	0x34	52	4	0x54	84	\mathbf{T}	0x74	116	t
0x15	21	NAK	Negative ack	0x35	53	5	0x55	85	U	0x75	117	u
0x16	22	SYN	Synchronous idle	0x36	54	6	0x56	86	V	0x76	118	v
0x17	23	ETB	End transmission block	0x37	55	7	0x57	87	W	0x77	119	W
0x18	24	CAN	Cancel	0x38	56	8	0x58	88	X	0x78	120	X
0x19	25	EM	End of medium	0x39	57	9	0x59	89	Y	0x79	121	У
0x1A	26	SUB	Substitute	0x3A	58	:	0x5A	90	\mathbf{z}	0x7A	122	Z
0x1B	27	FSC	Escape	0x3B	59	;	0x5B	91	[0x7B	123	{
0x1C	28	FS	File separator	0x3C	60	<	0x5C	92	\	0x7C	124	
0x1D	29	GS	Group separator	0x3D	61	1=1	0x5D	93]	0x7D	125	}
0x1E	30	RS	Record separator	0x3E	62	>	0x5E	94	^	0x7E	126	0-1
0x1F	31	US	Unit separator	0x3F	63	?	0x5F	95		0x7F	127	DEL