

## Chapitre 4: Expressions régulières

INF1070

Utilisation et administration des systèmes informatiques

Jean Privat & Alexandre Blondin Massé

Université du Québec à Montréal

Hiver 2021

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

## Plan

- 1 Introduction
- 2 Expressions régulières de base
- 3 Expressions étendues

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

## Introduction

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

Expressions régulières

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

- Un **motif** sous forme de **chaîne de caractères**
- Qui représente un **ensemble** (potentiellement infini) de chaînes de caractères

Objectifs

- Identifier du texte ou des parties de texte
- Chercher dans du texte
- Transformer du texte

Ça ressemble un peu au glob

Rappel: développement des noms de fichiers (glob)

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

Désigner simplement un ensemble de fichiers selon un **motif**

- Point d'interrogation **?** — un caractère quelconque
- Étoile **\*** — zéro, un ou plusieurs caractères
- Crochets **[]** — un seul des caractères de la liste

Exemples

- « cat \*.txt » se terminent par .txt
- « cat ?[oa]\* » la deuxième lettre est a ou o

Note

- Le glob est géré par le shell (pas par la commande)
- La commande *ne voit* que les arguments une fois développés

Les détails: le manuel de `glob`

Développement des noms de fichiers (suite)

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

Autres motifs permis

- Point d'exclamation **![...]** — caractère qui **n'est pas** dans la liste
- Intervalles **[<debut>-<fin>]** — caractère entre <debut> et <fin>

Exemple

- « ls \*![co] » — ne terminent ni par c ni par o
- « ls [f-i]\* » — commencent par f, g, h ou i

Entre crochets, les caractères deviennent littéraux

- « cat [][!?\*]\* » — commence par ], [, !, ? ou \*

Glob ≠ expression régulière

Différences

- glob → noms de fichier
- expressions régulières → texte
- Les conventions sont différentes

Extrait du manuel de glob

« Note that wildcard patterns are not regular expressions, although they are a bit similar. First of all, they match filenames, rather than text, and secondly, the conventions are not the same: for example, in a regular expression '\*' means zero or more copies of the preceding thing. »

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

Qui utilise les expressions régulières ?

Outils de manipulation de texte

- Éditeurs de texte: vi, et tous les éditeurs modernes, ...
- Outils autonomes: grep, sed, ...
- Base de données: MySQL, MariaDB, Oracle, ...

Langages de programmation

- De base en Perl, Python, Java, JavaScript, etc.

→ Opérations sur le texte

→ Vérification et sanitisation de données

Autres utilisations

- Colorateur syntaxique colorie les mots clés
- Serveur web filtre et transforme des requêtes HTTP
- Compilateur reconnaît les éléments textuels d'un programme

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

Différentes conventions



De nombreux outils et usages

Font que la syntaxe et les mécanismes varient

- POSIX Basic regular expression (BRE)
- POSIX Extended regular expression (ERE)
- Extensions GNU à POSIX
- Perl compatible regular expression (PCRE)
- Spécificités de chaque langage et outil

Exemple de différences

- Échappement des caractères spéciaux
- Classes de caractères
- Mécanismes plus avancés (lookahead, références relatives, etc.)

Dans le cours: BRE et ERE (POSIX)

Plusieurs commandes les utilisent, notamment grep et sed

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

La commande grep: rappel

grep — cherche les lignes correspondant à un motif

- -i, --ignore-case ignorer la casse (majuscule/minuscule)
- -n, --line-number affiche le numéro de ligne
- -v, --invert-match afficher les lignes qui ne correspondent pas
- -x, --line-regexp chercher la ligne entière
- --color colorier le motif (GNU)

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

Autres options utiles de grep

- -o, --only-match afficher seulement la correspondance (GNU)
- -l, --files-with-matches liste les fichiers qui ont des résultats
- -c, --count compter le nombre de correspondances
- -A, --after-context affiche des ligne de contexte après (GNU)
- -B, --before-context affiche des ligne de contexte avant (GNU)
- -C, --context affiche des lignes de contexte autour (GNU)
- -r, --recursive chercher dans des répertoires (GNU)
- -f, --file lire les motifs depuis un fichier
- -E, --extended-regexp passer en mode étendu (on va y revenir)
- -F, --fixed-strings chercher des chaînes fixes (désactive les expressions régulières)
- -P, --perl-regexp passer en mode PCRE (GNU)

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

Questions sur grep

- Combien de mots en français contiennent « tata » ?  
→ grep -c tata /usr/share/dict/french
- Quel mot précède « impact » dans le dictionnaire ?  
→ grep -B 1 impact /usr/share/dict/french
- Quels dictionnaires ne contiennent pas le mot « immunologie » ?  
→ grep -L -r immunologie /usr/share/dict/

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

## Expressions régulières de base

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

## Généralités

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

- BRE = *basic regular expressions*
- Une des versions syntaxiques **POSIX** (l'autre étant ERE)
- Reconnue par la plupart des commandes Unix
- Reconnue par plusieurs éditeurs de texte (Vi/Vim, Emacs)
- Syntaxe de base plus ou moins universelle

## Caractères littéraux et caractères spéciaux

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

### Caractères spéciaux

- Le **point** `.`
- Les **crochets** `[` et `]`
- L'**étoile** `*`
- Le **circonflexe** `^`
- Le **dollar** `$`
- La **contre-oblique** `\`
- Tous les autres caractères sont littéraux
- « `\` » rend littéral un caractère spécial et inversement

### Attention

- Certains caractères sont spéciaux pour le shell
- BRE  $\neq$  glob même s'il y a des caractères communs

Le point: joker

★

Le **point** « . » correspond à n'importe quel caractère sauf NUL

```
$ grep sa.z /usr/share/dict/french
ersatz
sanza
$ grep anti..... /usr/share/dict/french
anticonstitutionnellement
```

- Note
- Équivalent au « ? » en glob
  - Utiliser « \. » pour reconnaître un point
  - Certains outils ou options n'incluent pas la fin de ligne dans « . »

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

L'étoile: répétition

★

L'**étoile** \* indique une répétition d'un motif

- 0 fois
- 1 fois
- ou plusieurs fois

```
$ cat fruits.txt
banane
mangue
pomme
$ grep -o 'm*e' fruits.txt
e
e
mme
```

- Note
- Protéger l'étoile du shell

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

Ancrage

★

Deux caractères spéciaux permettent de forcer une **position**

- Le circonflexe « ^ » indique le début de la chaîne (ou ligne)
- Le dollar « \$ » indique la fin de la chaîne (ou ligne)

```
$ grep '^fricas' /usr/share/dict/french
fricassée
fricassées
fricasser
$ grep 'key$' /usr/share/dict/french
hockey
jockey
$ grep '^mettre$' /usr/share/dict/french
mettre
```

- -x équivaut à ajouter des ^ et \$ implicites
- Protéger \$ du shell

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

Question

Rechercher tous les mots du français qui contiennent « cri » et finissent par « al »

```
$ grep 'cri.*al$' /usr/share/dict/french
cristal
scriptural
```

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

Crochets : liste de caractères



« [ ] » listent un choix parmi plusieurs caractères

```
$ echo "mes aieux" | grep -o '[aeiou]*'
e
aieu
```

Note

- Protéger « [ » et « ] » du shell

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

Crochets : négation de classe



- Entre les crochets,
- On peut interdire un ou plusieurs caractères
- En commençant par le circonflexe « ^ »

```
$ echo "mes aieux" | grep -o '[^aeiou]*'
m
s
x
```

Note

- Le circonflexe ^ joue deux rôles (ancrage et négation)

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

## Crochets : intervalles



- Entre les crochets, on peut préciser un intervalle
- Avec le caractère « - »

```
$ grep '[x-z][a-c][y-z]' /usr/share/dict/french
zézayer
```

```
$ grep -o '[x-z][a-c][y-z]' /usr/share/dict/french
zay
```

```
$ echo '!@#%$^&-=+() []' | grep --color '[!-*]'
```

Les intervalles peuvent dépendre

- De la *locale* (détails plus tard)
- ou du codage (ASCII, Unicode, etc.) `man ascii`

## Notes

[illegible]

## Classes de caractères POSIX

## Certains ensembles de caractères sont plus fréquents

- [:lower:] : minuscules
- [:upper:] : majuscules
- [:digit:] : chiffres
- [:alpha:] : minuscules et majuscules
- [:alnum:] : minuscules, majuscules et chiffres
- [:punct:] : ! , ; + # / \ | etc.
- [:blank:] : espace et tab
- [:space:] : espace, tab, \r, \n, etc.
- [:cntrl:] : caractères de contrôle (NUL, BS, ESC, DEL, etc.)
- [:graph:] : caractères graphiques, [:alnum:] et [:punct:]
- [:print:] : caractères affichables, [:graph:] et espace
- [:xdigit:] : caractères hexadécimaux

Les classes dépendent de la *locale* (détails plus tard)

## Notes

[illegible]

## Autres classes de caractères

GNU, Perl et de nombreux outils reconnaissent d'autres classes

- `\w` : lettre, chiffre ou souligné « \_ »
- `\W` : l'inverse de `\w`
- `\s` : un espace
- `\S` : l'inverse de `\s`
- `\d` : un chiffre (pas GNU)
- `\D` : l'inverse de `\d` (pas GNU)
- `\b` : frontière entre mot et non-mot
- `\B` : l'inverse de `\b`
- `\<` : début de mot
- `\>` : fin de mot

En fonction des outils, les classes dépendent (ou non) de la *locale*

## Notes

[illegible]



```
$ grep 'garde' /usr/share/dict/french
arrière-garde
avant-garde
[...]
sauvegardes
sauvegardez

$ grep '\bgarde\b' /usr/share/dict/french

arrière-garde
avant-garde
[...]
garde-robe
garde-robres
```

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

Classes d’équivalence POSIX



- `[=c=]` : classe d’équivalence du caractère `c`
- Par exemple `[=e=]` inclut `éèêëè`

```
$ grep '[[=e=]][[=e=]][[=e=]]' /usr/share/dict/french
agréeée
agréesées
créée
[...]
suppléesées
```

Attention aux  **doubles**  crochets

```
$ echo 'e + é = è' | grep -o '[=e=]'
e
=
```

Les classes d’équivalence dépendent aussi de la  *locale*

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

Collations POSIX



- *digraphe*  = 2 caractères qui en forment un seul
- Certaines langues ont des  *digraphes*
- Exemple, en tchèque, `ch` est une lettre entre `h` et `i`
- En croate, `lj` est une lettre entre `l` et `m`
- Avant, en allemand, `ss` était une lettre à part (maintenant *ß*)
- La norme POSIX permet de gérer ces doubles caractères
- Dans le cours, on ne s’en préoccupera pas (pas de problème en français/anglais)

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

Question

Rechercher tous les mots du français qui ne contiennent aucune voyelle parmi a, e, i, o, u

- `grep '^aeiou' /usr/share/dict/french`  
→ reconnaît oiseau à cause du s
- `grep '^aeiou*' /usr/share/dict/french`  
→ reconnaît tout car \* accepte 0 répétitions
- `grep '^aeiou*$' /usr/share/dict/french`  
→ reconnaît âgé à cause des accents
- `grep '^aaâæéêëïïïoôuûü*$'`  
→ fonctionne (même si û manque)
- `grep '^[[a=][e=][i=][o=][u=]]*$'`  
→ fonctionne aussi

Avec les options de grep

- `grep -x '^[[a=][e=][i=][o=][u=]]*$'`
- `grep -v '^[[a=][e=][i=][o=][u=]]$'`

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

La commande sed (1/3)

sed (stream editor) filtrer et transformer du texte

- `-n` mode silencieux
- `-f, --file` lecture des transformation à partir d'un fichier
- `-i, --in-place` modifie le fichier (au lieu d'afficher sur stdout) (GNU)
- `-E` passer en mode étendu (GNU)
- `--posix` désactive les extensions GNU (GNU)

Commandes spécifiques à sed

- `sed` lit une ou plusieurs commandes
- Et les exécute une à une
- Par exemple, `s/ancien/nouveau/` pour substituer ancien par nouveau
- Scriptable: on peut les regrouper dans un fichier
- Nous ne verrons que quelques-unes de ces commandes

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

La commande sed (2/3)

Permet (entre autres) de remplacer un motif par un autre

```
$ cat form.txt
Nom: <nom>
Prénom: <prénom>
Code permanent: <code>
Courriel: <courriel>

$ sed 's/<prénom>/Alexandre/' form.txt
Nom: <nom>
Prénom: Alexandre
Code permanent: <code>
Courriel: <courriel>
```

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

## La commande sed (3/3)

```
$ cat remplir.sed
s/<nom>/Blondin Massé/
s/<prénom>/Alexandre/
s/<code>/BL0A00000000/
s/<courriel>/blondin_masse.alexandre@uqam.ca/

$ sed -f remplir.sed form.txt
Nom: Blondin Massé
Prénom: Alexandre
Code permanent: BL0A00000000
Courriel: blondin_masse.alexandre@uqam.ca
```

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

## Mythologie de grep

- Éditeur `ed` (POSIX)
- Développé par Ken Thompson
  - `g/re/p` est une commande de `ed`
  - *globally search the regular expression then print the line*
- Outil `grep` (POSIX)
- Développé comme un outil autonome plus rapide
  - Popularisé l'utilisation (et la notation) des expressions régulières
- Dans le dictionnaire: nom et verbe
- <https://en.oxforddictionaries.com/definition/grep>

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

## Expressions étendues

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

## Différences avec BRE

### Syntaxe différente

- Plus de caractères spéciaux
- Plus d'opérations

### Pour l'avoir

- `grep -E` (POSIX), `egrep` (pas POSIX)
- `sed -E` (GNU)
- Par défaut dans de nombreux outils

→ C'est le défaut quand les gens pensent expressions régulières

### Note

- Certains caractères spéciaux BRE existent sous forme échappée
- « `(i.|i){6}` » en ERE équivaut à
- « `\(i.|i)\{6\}` » en BRE

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

## Sous-expressions



- Les parenthèses « `()` » forment des groupes
- Les opérateurs comme `*` s'appliquent sur les groupes

```
$ grep -Ex 'hu(.i)*ent' /usr/share/dict/french
huent
huent
humidifiaient
```

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

## Motif optionnel



« `?` » rend un motif optionnel

- On peut rendre un caractère optionnel

```
$ grep -xE 'p?r?is' /usr/share/dict/french
pis
pris
ris
```

- Ou une sous-expression complète

```
$ grep -Ex 't(rav)?aill((er)?ions)?'\
> /usr/share/dict/french
taillierions
taillions
travaillierions
travaillions
```

Question: que trouve « `man?g?e?r?i?e?z?` » ?

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

Répétition stricte

★

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

- L'étoile « \* » accepte lorsqu'il y a 0 occurrence
- ```
$ grep -xE '(cher)*(as)*' /usr/share/dict/french
as
cher
chercher
chercheras
```
- Le plus « + » force au moins 1 occurrence
- ```
$ grep -xE '(cher)+(as)+' /usr/share/dict/french
chercheras
```

Répétitions d'un nombre précis d'occurrences

★

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

- À l'aide d'accolades « { } »
- {m} : exactement m fois
  - {m,} : m fois ou plus
  - {,n} : n fois ou moins
  - {m,n} : entre m et n fois
- ```
$ echo 'aaaaaabaabaaa' | grep -oE 'a{5}'
aaaaa
```
- ```
$ echo 'aaaaaabaabaaa' | grep -oE 'a{3,4}'
aaaa
aaa
```

Questions

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

- Quels mots du français ont
- un i une lettre sur deux
  - et au moins trois i?
- ```
$ grep -Ex '..?i(.i){2,}.?' /usr/share/dict/french
```

## Répétitions en bref

Plusieurs façons de gérer les répétitions

- `*`, `{0,}` ou `{,}` : 0, 1 ou plusieurs fois
- `?`, `{0,1}` ou `{,1}` : 0 ou 1 fois
- `+` ou `{1,}` : 1 fois ou plus
- `{m}` : exactement `m` fois
- `{m,n}` : entre `m` et `n` fois
- `{m,}` : `m` fois ou plus
- `{,n}` : `n` fois ou moins

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

## Avarice

En POSIX, les répétitions ont un comportement **avare** (*greedy*)

- Elles consomment le plus possible de caractères qui correspondent
- Elles trouvent les répétitions les plus longues possibles

```
$ cat cobal
cobalourdeaubardumbadaudodos
$ grep -o 'b.*d' cobal
balourdeaubardumbadaud
```

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

## Questions d'avarices

Seulement les chaînes qui commencent par « `b` » et finissent par le « `d` » le plus proche?

```
$ grep -o 'b[^d]*d' cobal
balourd
bobard
bad
```

Seulement les chaînes qui commencent par « `ba` » et finissent par le « `ud` » ou le « `rd` » le plus proche?

```
$ grep -o 'ba[^d]*[ur]d' cobal
balourd
bard
$ grep -o 'ba[^ur]*[ur]d' cobal
bard
badaud
```

- C'est très difficile... :(

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

PCRE permet le contrôle de l'avarice des répétitions

- Une répétition suivie d'un point d'interrogation ?
- N'est plus avare

L'option -P de `grep` active le mode PCRE (GNU)

```
$ grep -oP 'b.*?d' cobal
balourd
bobard
bad

$ grep -oP 'ba.*?[ur]d' cobal
balourd
bard
badaud
```

Notes

- Équivalent au *ou* logique ou à l'*union* ensembliste

```
$ grep -E 'comberio|ustibi' /usr/share/dict/french
combustibilité
incomberions
incombustibilité
succomberions

$ grep -E 'e(cou|pli)(sse|é)$' /usr/share/dict/french
replié
replisse
secoué
secousse
```

Notes

Il y a une priorité sur les opérateurs

```
$ grep -Ex 'pro|ton*s?' /usr/share/dict/french
```

- « `pro|ton*s?` » vaut « `(pro)|(to(n)*(s)?)` »
- Essayer « `pro|(ton)*s?` » et « `(pro|ton)*s?` »

Notes

Problème

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

• Qu'en est-il du *et* logique?

Rechercher tous les mots qui contiennent au moins une fois chaque voyelle  
a, e, i, o, u.

Quel est le problème de « a.\*e.\*i.\*o.\*u » ?

```
$ grep a.*e.*i.*o.*u /usr/share/dict/french
garde-chiourme
gardes-chiourme
gardes-chiourmes
```

Solution

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

Solution simple: utiliser un **tube**

```
$ grep a /usr/share/dict/french | grep e | grep i \
> | grep o | grep u
abasourdie
abasourdies
[...]
zygomatiques
```

- Pas optimal, car relit plusieurs fois chaque ligne
- Mais pas d'autres solutions avec `grep`
- Il existe des solutions plus puissantes, par exemple Perl (plus tard...)

Capture de sous-chaîne



Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

- On peut réutiliser une ou plusieurs sous-chaîne
- Une sous-chaîne correspond à une sous-expression
- On y réfère avec « \i », où « i » est le numéro de la sous-expression

```
$ grep -Ex '(...)\1' /usr/share/dict/french
rentrèrent
saisissais
sentissent

$ grep -Ex '(...)(...)\2\1' /usr/share/dict/french
entassassent
```



Sous-expressions imbriquées

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

- On peut imbriquer des sous-expressions
- Et réutiliser les sous-chaînes associées

Question

Quels mots ont 2 fois la même paire de lettres répétées ?  
Exemple: « gouttelette » (deux fois « tt »)

```
$ grep -E '((.)\2).*\1' /usr/share/dict/french
```

Même question mais sans prendre en compte les « ss » et « nn » ?

```
$ grep -E '([^\sn])\2).*\1' /usr/share/dict/french
```

Transformations

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

La capture est utile pour les transformations

- sed
- rechercher/remplacer des éditeurs

Exemple: Inverser les deux premières lettres de chaque ligne

```
$ sed -E 's/^(.)(.)/\2\1/' fruits.txt
abnane
amngue
opmme
```

Pour sed, l'esperluette « & » dénote le motif complet

```
$ echo "8 chiens 15 chats" | sed -E 's/[0-9]+/*&*/g'
*8* chiens *15* chats
```

Question

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

Extraire la partie centrale des mots qui

- Commencent par « inter »
- Et finissent par « aux ».
- Exemple: « intercontinentaux » → « continent »

```
$ sed -En 's/^inter(.*)aux$/\1/p' /usr/share/dict/french
```

PCRE permet de définir des contextes (*lookahead*, *lookbehind*)

- (?= assertion positive en avant
- (?<= assertion positive en arrière
- (?! assertion négative en avant
- (?<! assertion négative en arrière

Les assertions ne consomment pas les caractères

```
$ grep -Po '(?<=inter).*?(?=aux)' /usr/share/dict/french
```

Question

Rechercher tous les mots qui contiennent au moins une fois chaque voyelle a, e, i, o, u. (le retour!)

```
$ grep -P '(?=.*a)(?=.*e)(?=.*i)(?=.*o)(?=.*u).*'\n> /usr/share/dict/french
```

Notes

Aller plus loin

On a déjà vu beaucoup de puissance

- POSIX BRE et ERE
- Les extensions GNU
- Un peu de PCRE

PCRE (et d'autres normes)

- Réinitialisation « \K »
  - Options de chaînes « (?i) » et cie.
  - Sous-chaînes nommées
  - Référence arrière récursives
  - Contrôle de la marche-arrière (*backtracking*)
  - Structures conditionnelles
- voir la doc PCRE

Notes

XKCD



Source: <https://xkcd.com/208/> (2007)

Notes

Ne permet pas de tout faire

Exemple classique: les constructions récursives ne fonctionnent pas

- HTML, XML
- JSON
- Expression arithmétiques avec des parenthèses

C'est une limite théorique

Rapidement illisible

- `^(?\\d{3})?[-]*\\d{3}[-]*\\d{4}$` → numéros de téléphone
- `^M{,4}(CM|CD|D?C{,3})(XC|XL|L?X{,3})(IX|IV|V?I{,3})$`  
→ nombres romains valides
- `^@%*&+##$` → sans doute un juron

Notes

---

---

---

---

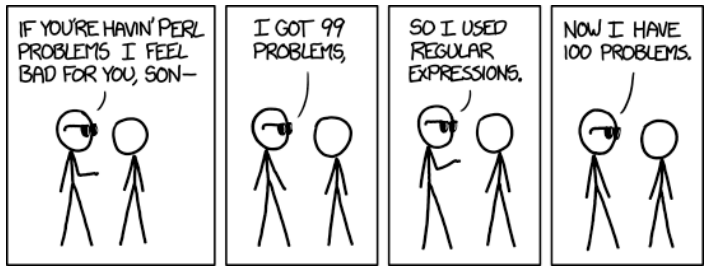
---

---

---

---

XKCD



Source: <https://xkcd.com/1171/> (2013)

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

Théorie des langages

Expressions régulières

Formellement, une expression régulière est construite à partir

- D'un **alphabet** et de la chaîne **vide**
- Des opérateurs de **concaténation**, d'**alternance** et de l'**étoile de Kleene**

Complexité des langages

Plusieurs types de langages formels: Hiérarchie de Chomsky

- Langages réguliers (*regular*, type 3)
- Langages algébriques (*context free*, type 2)
- Langages contextuels (*context sensitive*, type 1)
- Langages généraux (type 0)

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

Comment ça marche ?

- Expressions régulières utilisent des automates à états finis  
→ Très efficaces
- Grammaires algébriques utilisent des automates à pile  
→ Très efficaces aussi
- Les captures et extensions PCRE utilisent des algorithmes récur­sifs et du *backtrack*  
→ Potentiellement très inefficaces

En savoir plus

- INF5000: Théorie et construction des compilateurs
- INF5030: Théorie des automates
- INF600E: Création de langages informatiques (Hiver 2020)

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---