Contrôle de versions et Git

Millian Poquet

2021-12-09

Situations récurrentes

Problèmes

- Ce rapport était bien mieux hier.
- Mon PC a planté...
- Ce n'est pas le bon fichier de configuration !
- Mais qui a écrit ça ? pourquoi ?
- Comment appliquer ce patch de sécurité sur ces versions ?
- Comment intégrer ces deux changements en même temps ?

Solution ?

- Sauvegardes régulières : `rapport.docx`

Situations récurrentes

Problèmes

- Ce rapport était bien mieux hier.
- Mon PC a planté...
- Ce n'est pas le bon fichier de configuration !
- Mais qui a écrit ça ? pourquoi ?
- Comment appliquer ce patch de sécurité sur ces versions ?
- Comment intégrer ces deux changements en même temps ?

Solution ?

- Sauvegardes régulières : `rapport2.docx`

Situations récurrentes

Problèmes

- Ce rapport était bien mieux hier.
- Mon PC a planté...
- Ce n'est pas le bon fichier de configuration !
- Mais qui a écrit ça ? pourquoi ?
- Comment appliquer ce patch de sécurité sur ces versions ?
- Comment intégrer ces deux changements en même temps ?

Solution ?

- Sauvegardes régulières : ...

Situations récurrentes

Problèmes

- Ce rapport était bien mieux hier.
- Mon PC a planté...
- Ce n'est pas le bon fichier de configuration !
- Mais qui a écrit ça ? pourquoi ?
- Comment appliquer ce patch de sécurité sur ces versions ?
- Comment intégrer ces deux changements en même temps ?

Solution ?

- Sauvegardes régulières : `rapport_FINAL2.docx`

Situations récurrentes

Problèmes

- Ce rapport était bien mieux hier.
- Mon PC a planté...
- Ce n'est pas le bon fichier de configuration !
- Mais qui a écrit ça ? pourquoi ?
- Comment appliquer ce patch de sécurité sur ces versions ?
- Comment intégrer ces deux changements en même temps ?

Solution ?

- Sauvegardes régulières : `rapport_FINAL2.docx`
- Partage par clé usb ? mail ? transferts réseau ?

Situations récurrentes

Problèmes

- Ce rapport était bien mieux hier.
- Mon PC a planté...
- Ce n'est pas le bon fichier de configuration !
- Mais qui a écrit ça ? pourquoi ?
- Comment appliquer ce patch de sécurité sur ces versions ?
- Comment intégrer ces deux changements en même temps ?

Solution ?

- Sauvegardes régulières : `rapport_FINAL2.docx`
- Partage par clé usb ? mail ? transferts réseau ?

Solution

Utiliser un gestionnaire de versions !

Aspects traités par ce cours

- Gestion de version : concepts clés
- Pourquoi utilise-t-on du décentralisé aujourd'hui ?
- Git : kit de survie et utilisation plus avancée
- Bonnes pratiques (qualité, traçabilité, intégration)

Définitions

Contrôle de version

version control, *revision control*, *source code management (scm)*

- Gérer l'ensemble des versions de un ou plusieurs fichiers
- Devenu important avec l'informatisation
- Marche sur tout type de fichier, marche **bien** sur fichier textuel
- Surtout utilisé sur du code source

Gestionnaire de version

version control system (vcs)

- Un logiciel permettant le contrôle de version
- Dédié (*e.g.*, Git) ou non (*e.g.*, dans Wikipedia ou Google Docs)

Un vieux problème...

Le besoin d'identifier et contrôler la version d'œuvres est quasiment aussi vieux que l'écriture. Il croît avec l'amélioration des techniques d'imprimerie.

- Écriture (Mésopotamie), -3000
- Imprimerie xylographique (Chine), -200
- Imprimerie par caractères mobiles (Chine), 1040
- Imprimerie de Gutenberg (Europe), 1454
- Institut International de Bibliographie, 1895

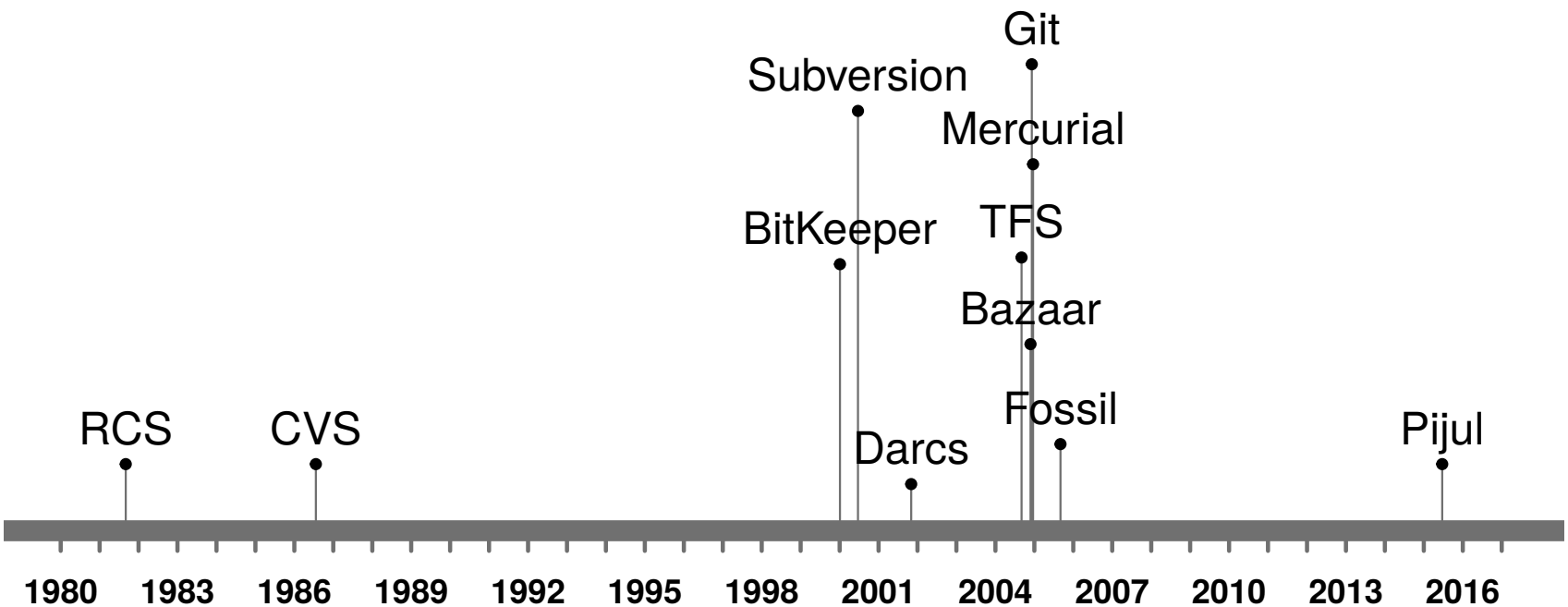
Standards bibliographiques actuels.

- ISBN, 1970 — publications non périodiques
- ISSN, 1971 — publications périodiques
- PubMed, 1996 — recherche en médecine et biologie
- DOI, 2000 — tout objet numérique

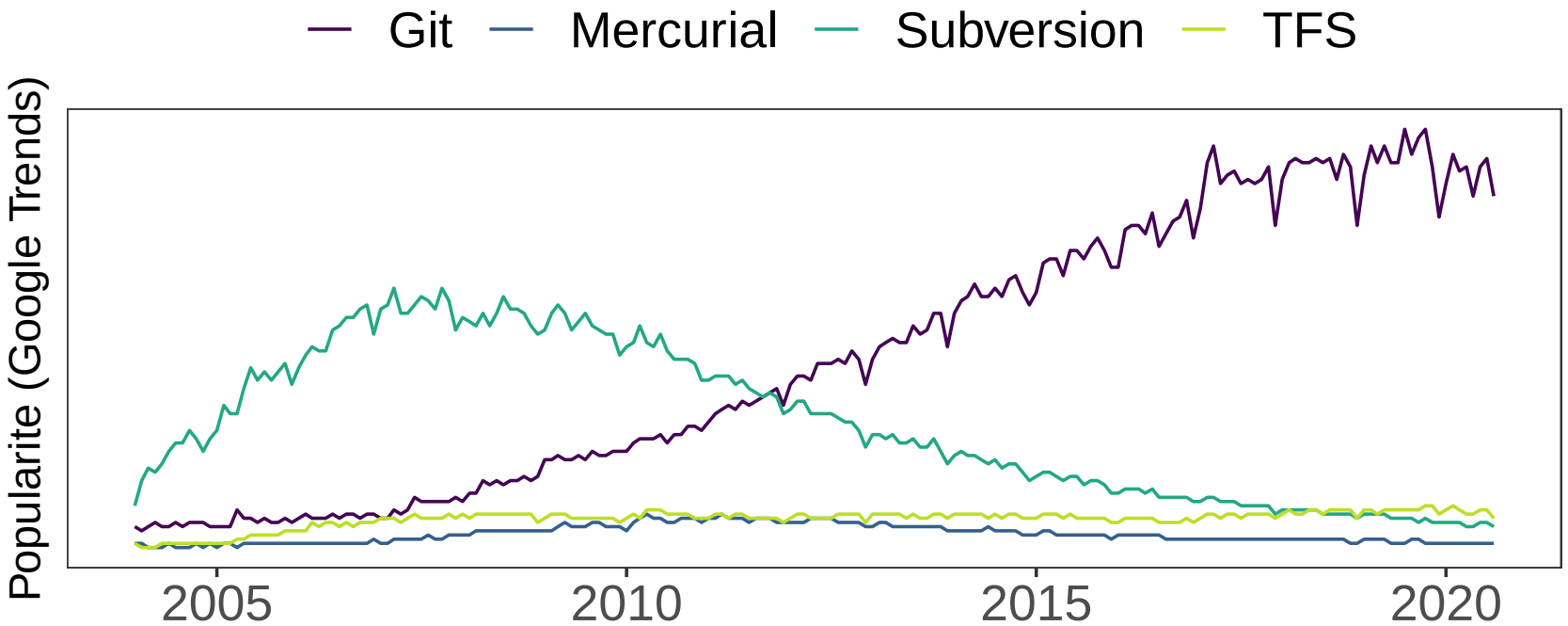
Un vieux problème, même en informatique

Principaux gestionnaires de versions.

- Locaux : SCCS (1972), RCS
- Centralisés : Subversion, CVS, TFS
- Décentralisés : Git, Mercurial, BitKeeper...



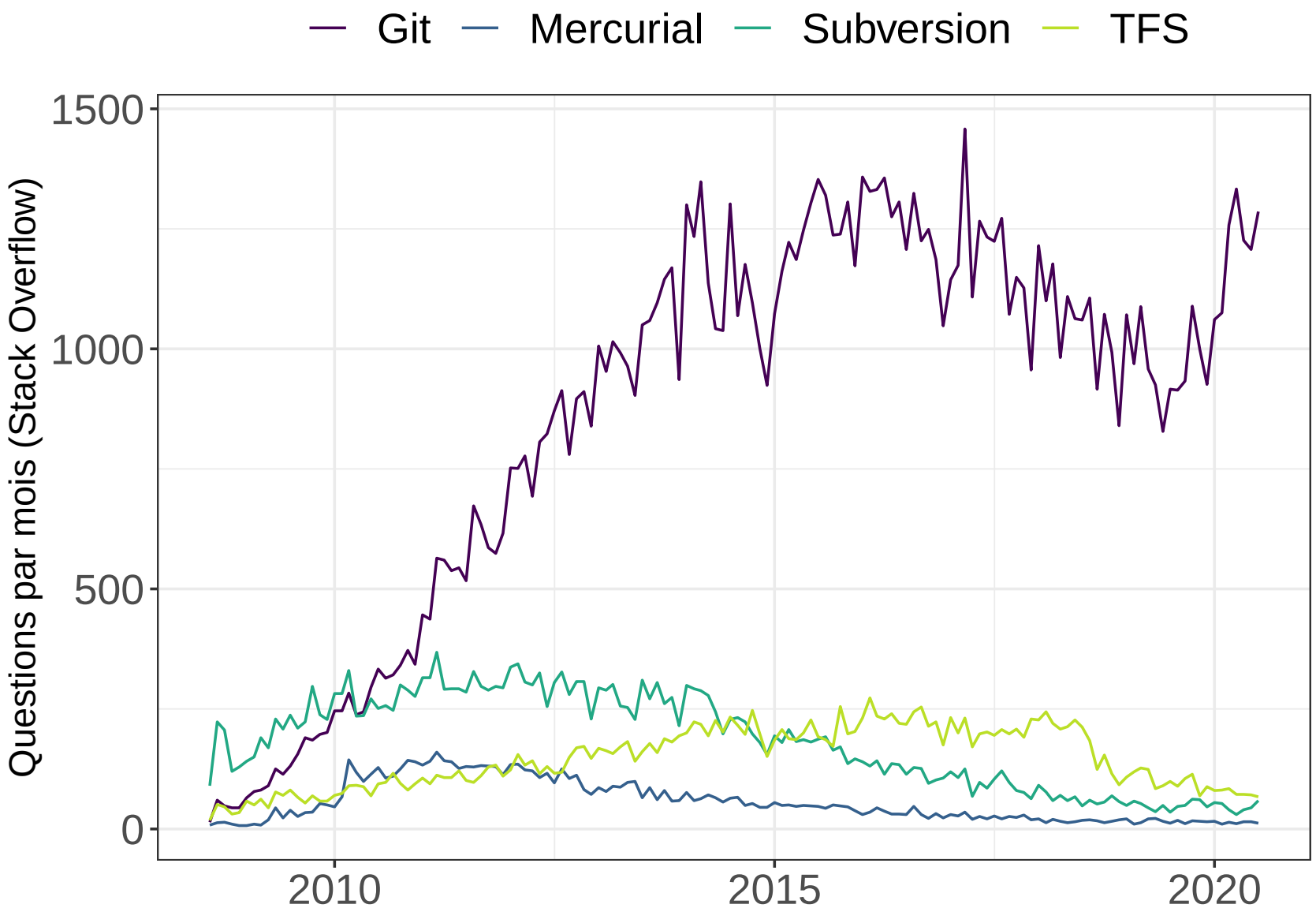
Popularité écrasante de Git



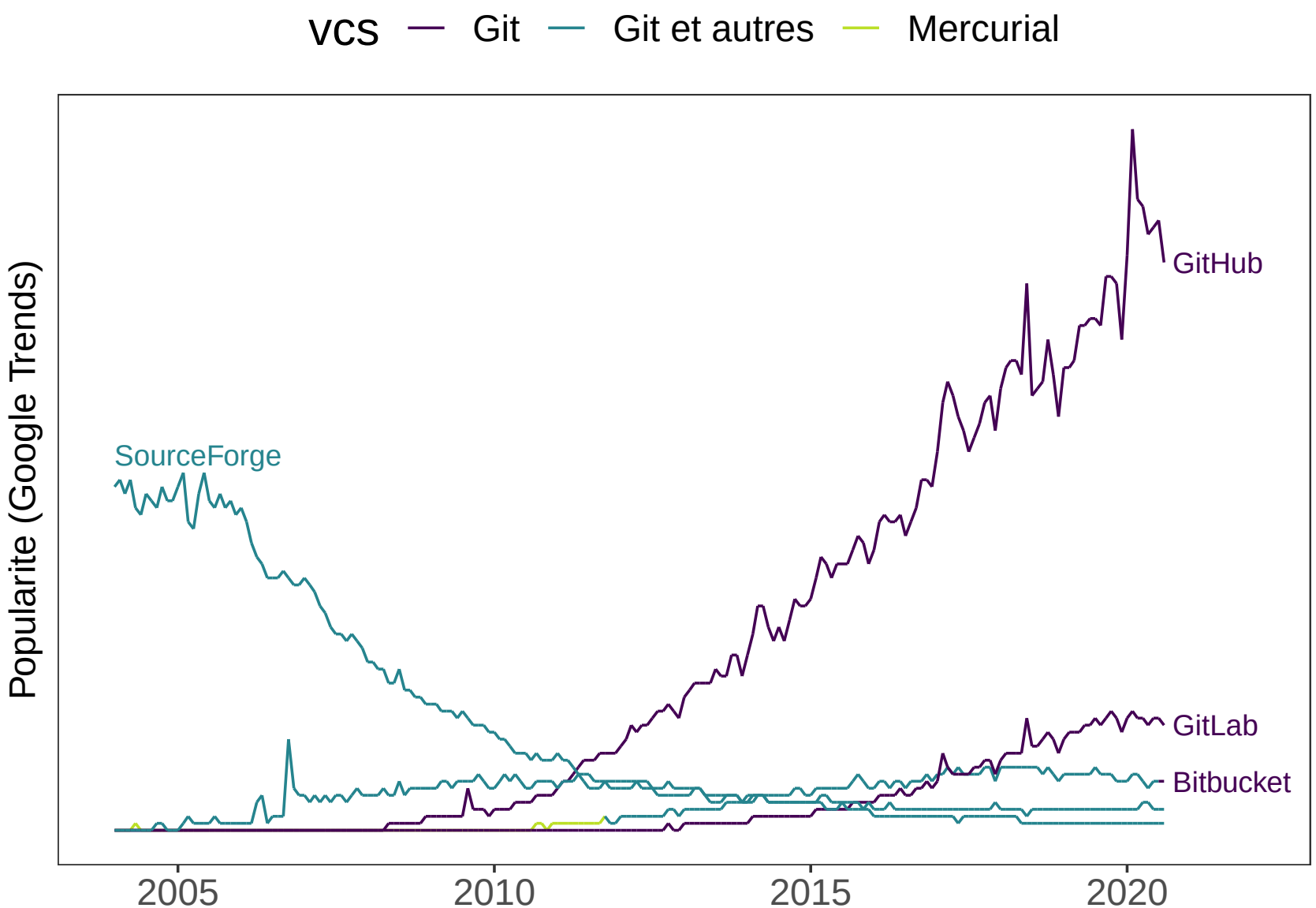
Une référence pour des concurrents

- `Pijul for Git users` (Pijul doc, page 1, section 1)
- `Fossil vs. Git` (Fossil doc, menu principal du site)
- `Azure DevOps` a deux VCS: son moteur *ad hoc* et Git

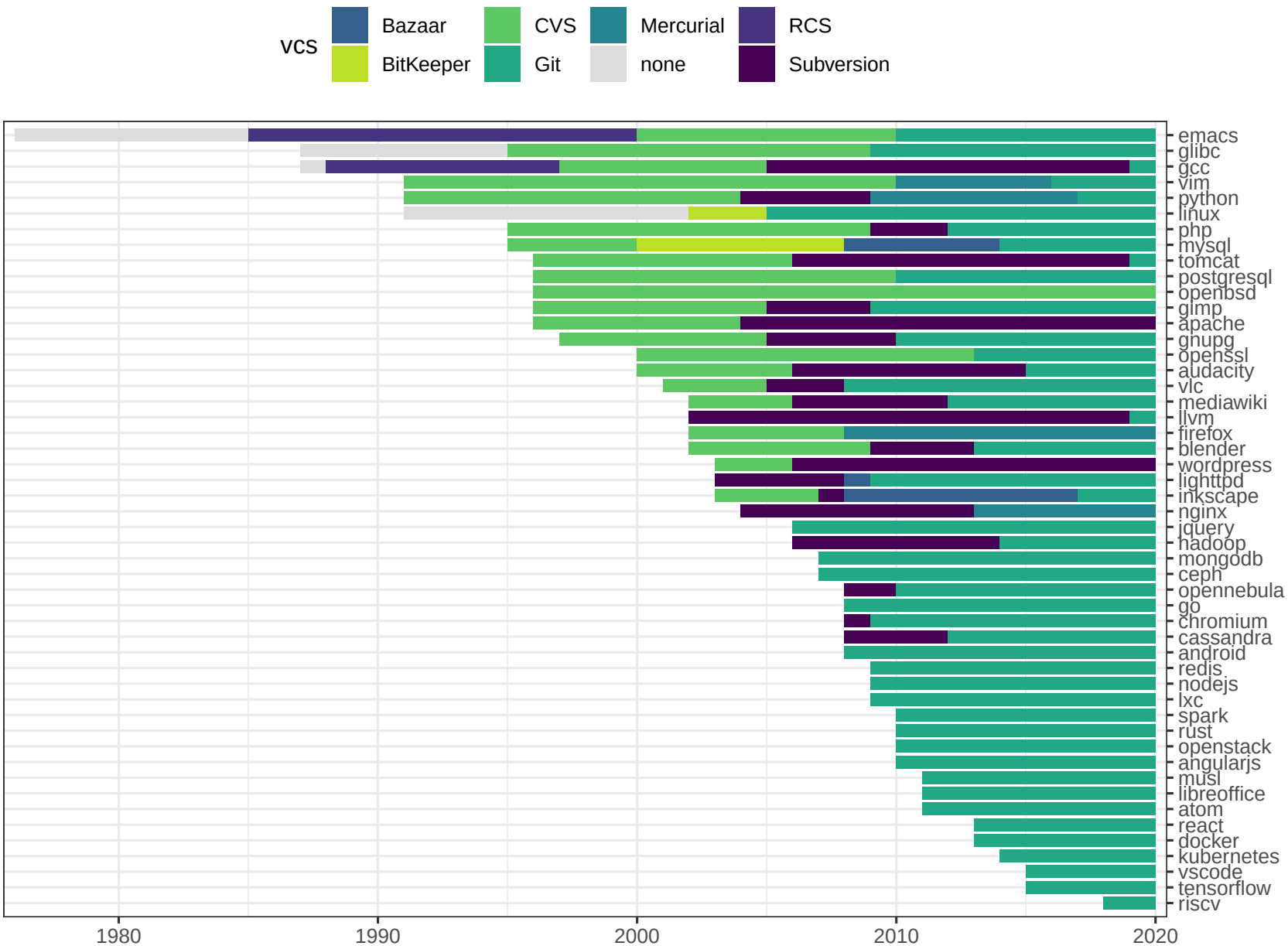
Popularité écrasante de Git (Stack Overflow)



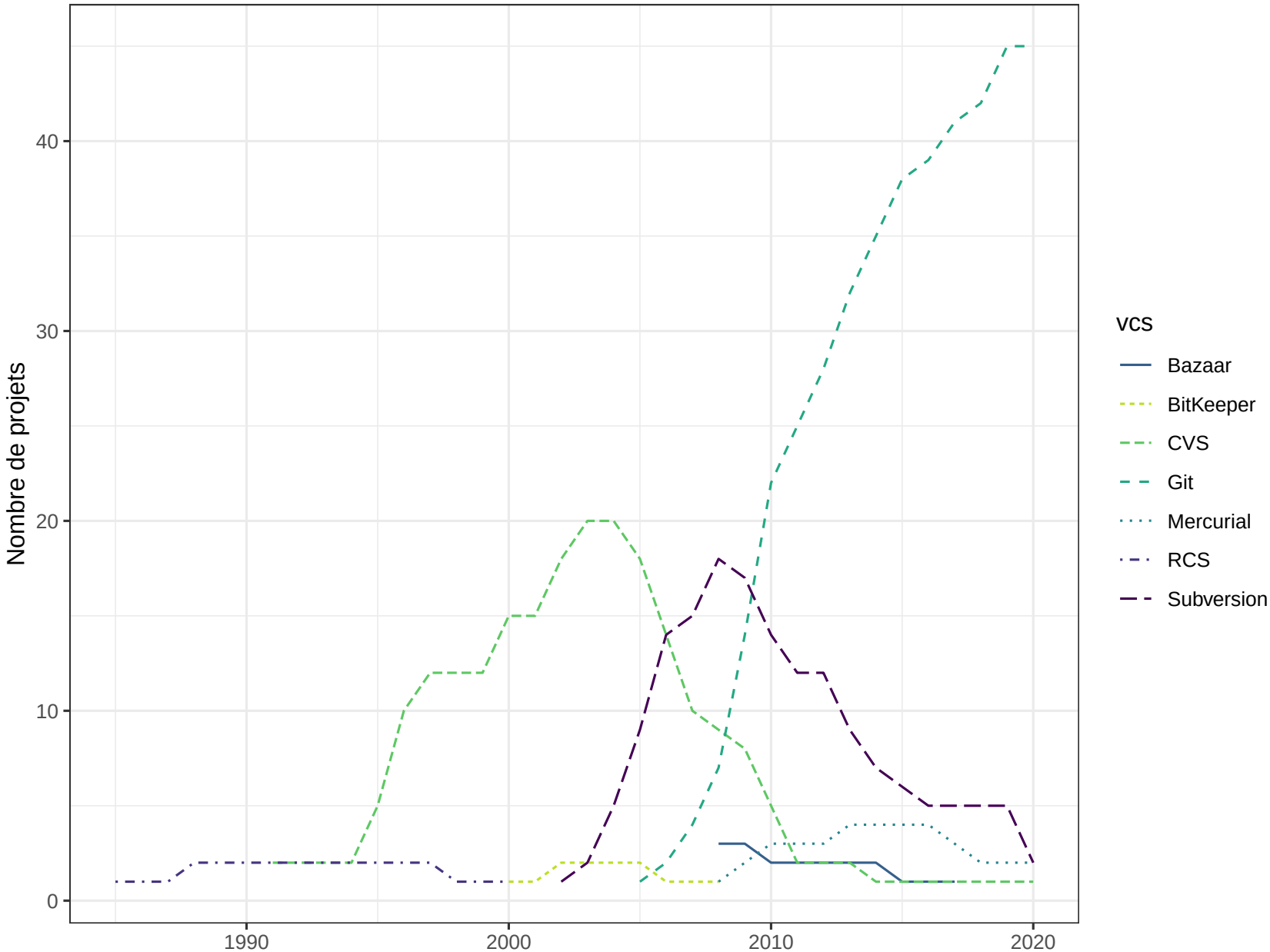
Popularité des forges



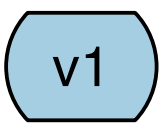
Adoption dans les projets open source



Adoption dans les projets open source (2)

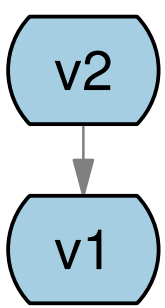


Historique des versions



LICENSE

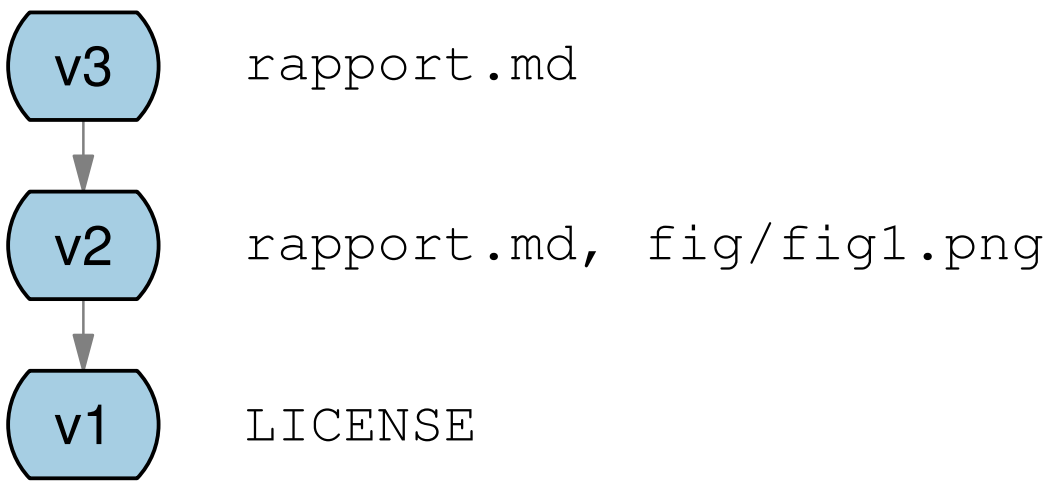
Historique des versions



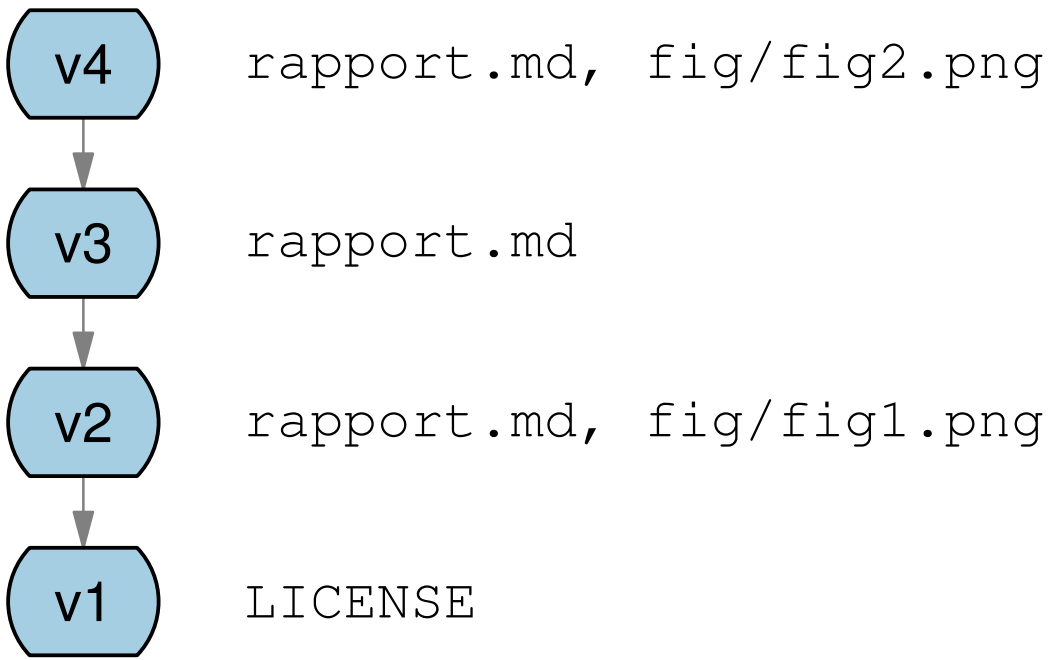
`rapport.md, fig/fig1.png`

`LICENSE`

Historique des versions

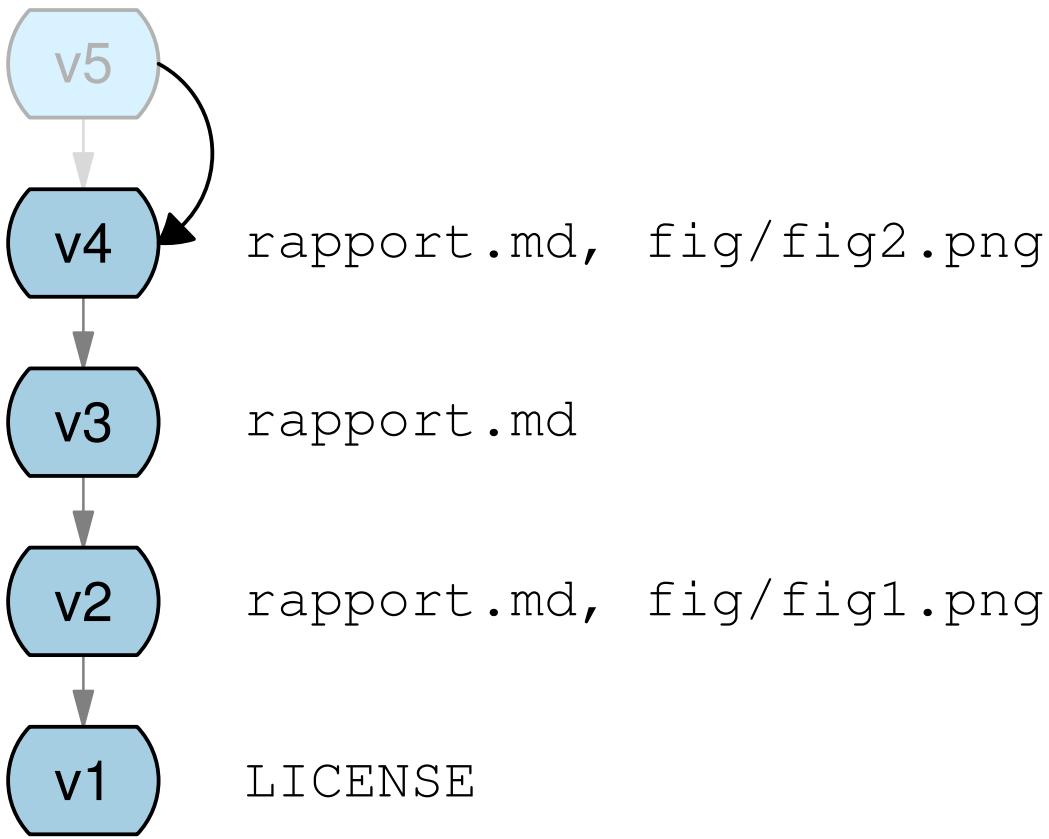


Historique des versions

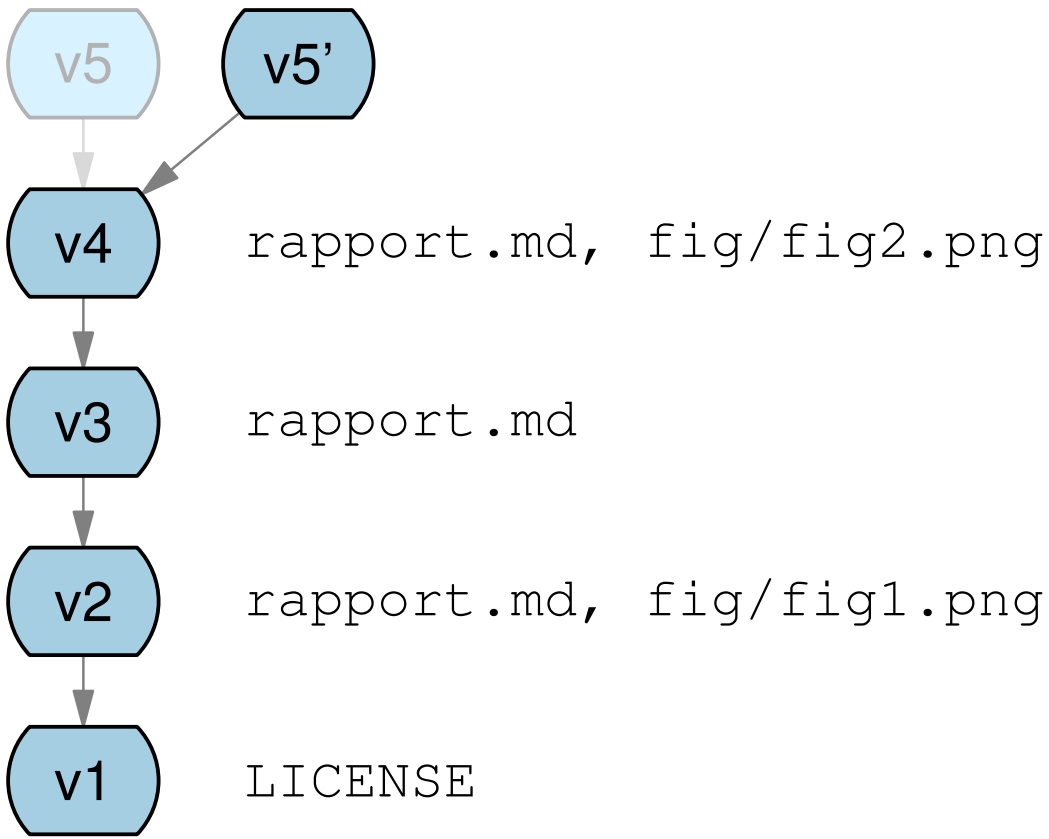


Historique des versions

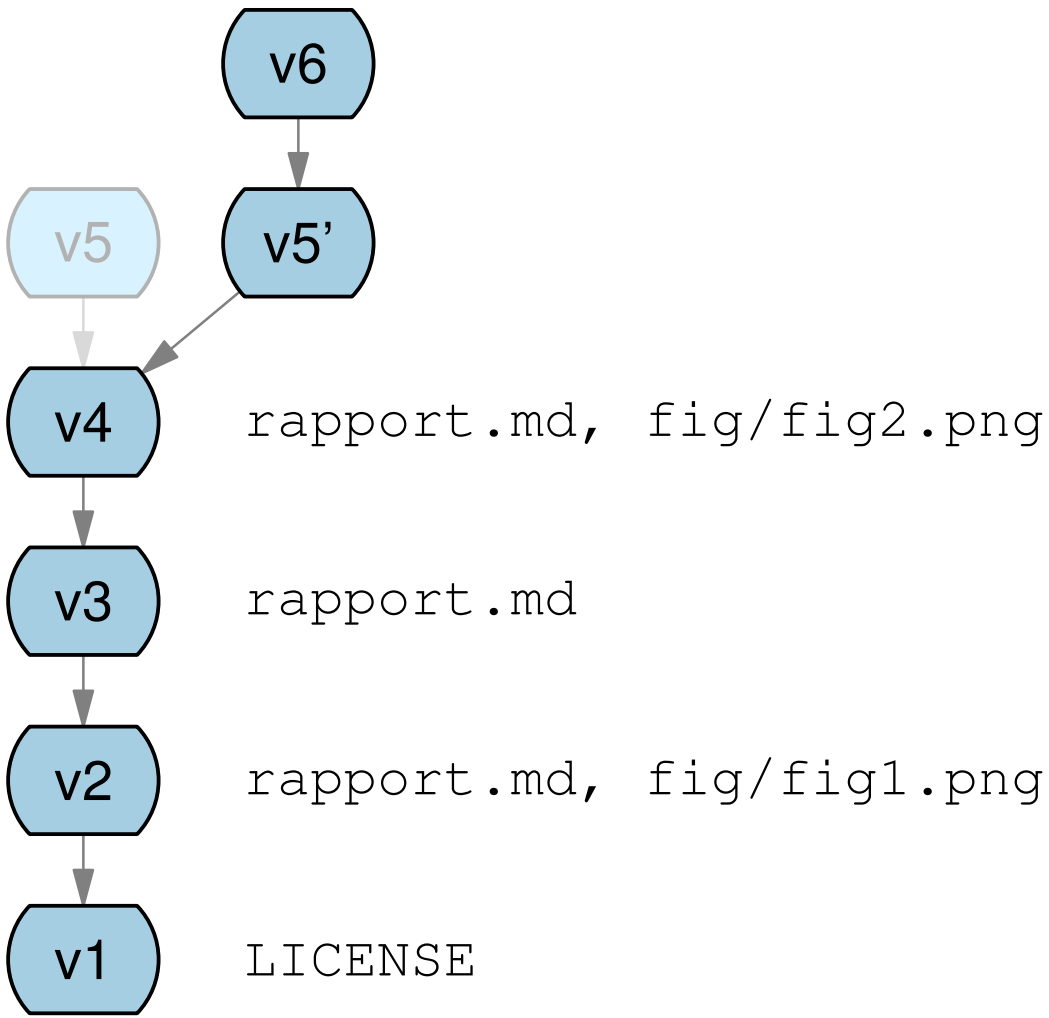
Historique des versions



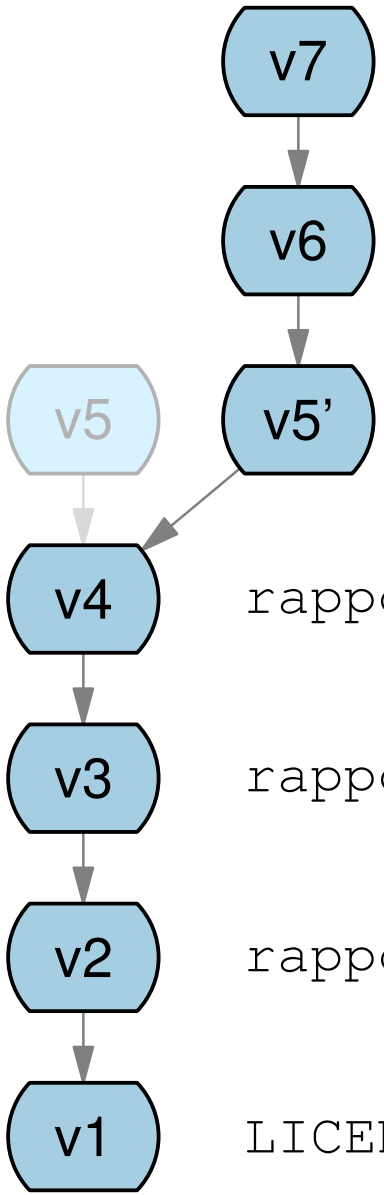
Historique des versions



Historique des versions



Historique des versions



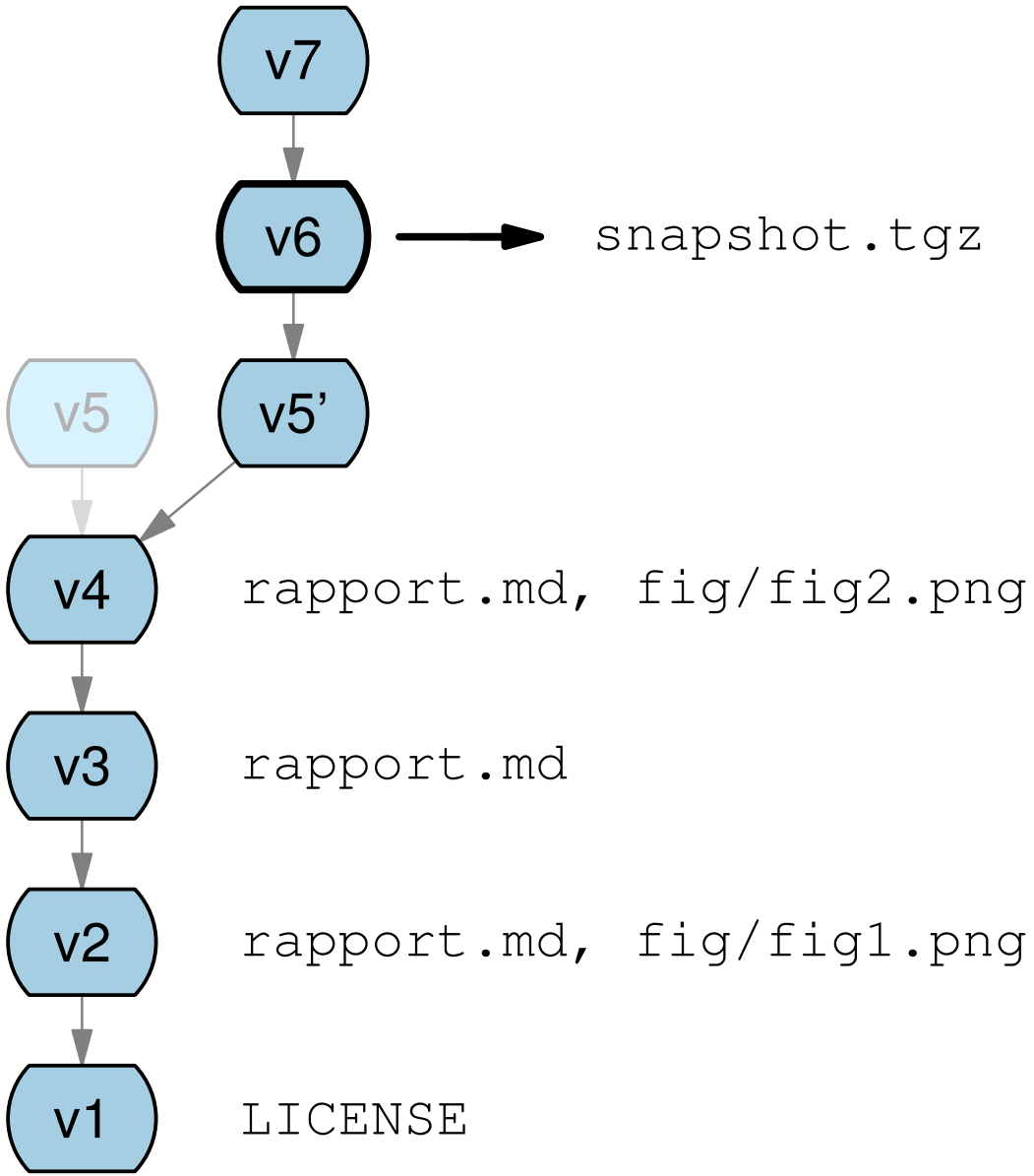
`rapport.md, fig/fig2.png`

`rapport.md`

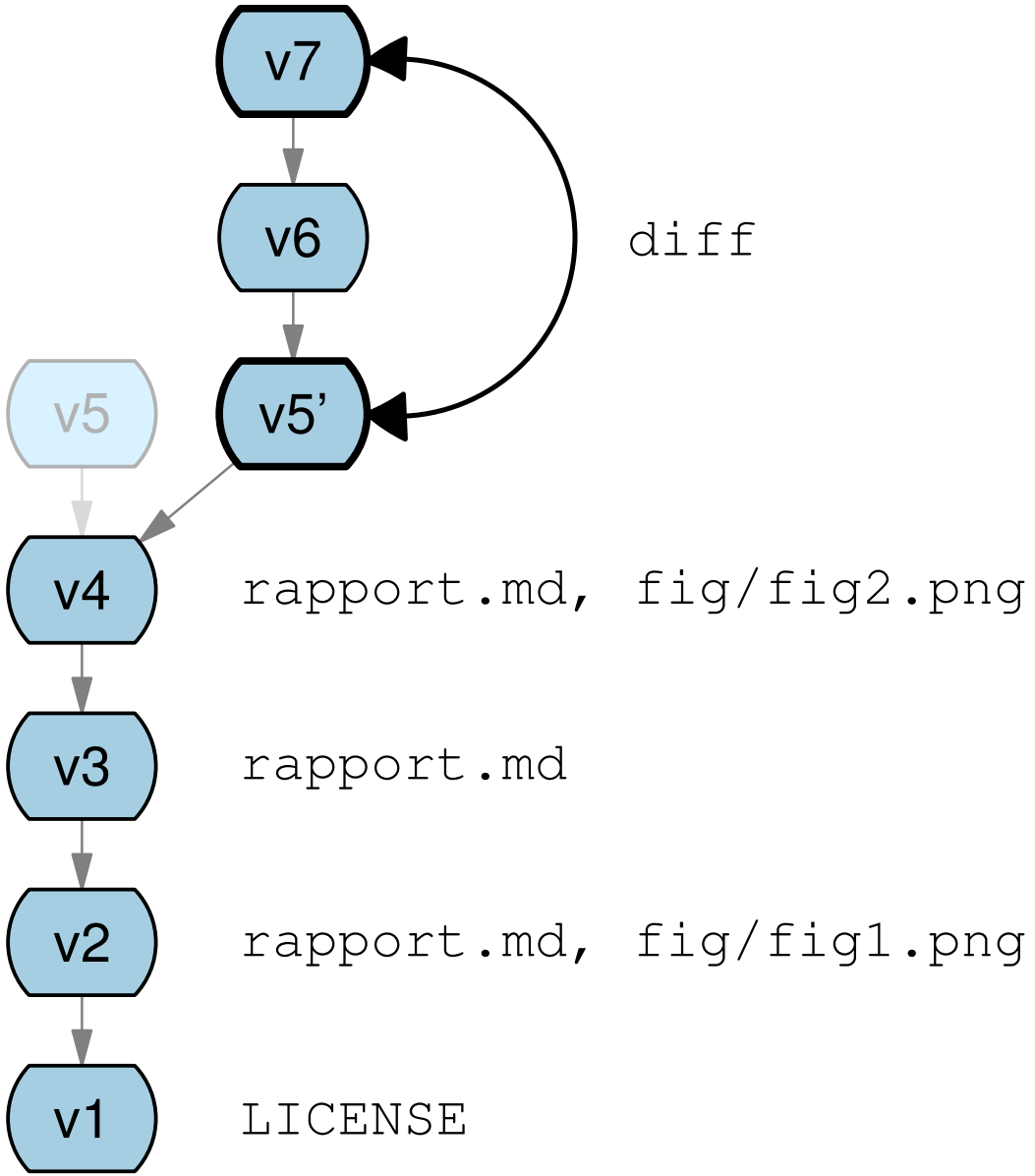
`rapport.md, fig/fig1.png`

`LICENSE`

Historique des versions

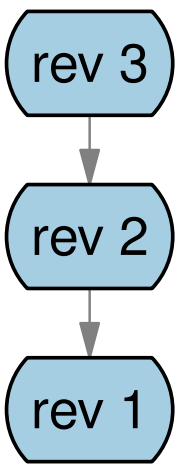


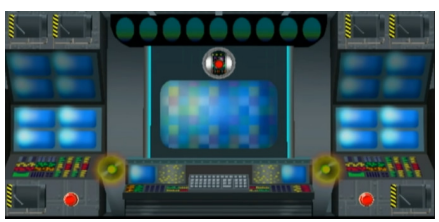
Historique des versions



Contrôle de versions centralisé — *e.g.*, Subversion

Le serveur gère l'historique

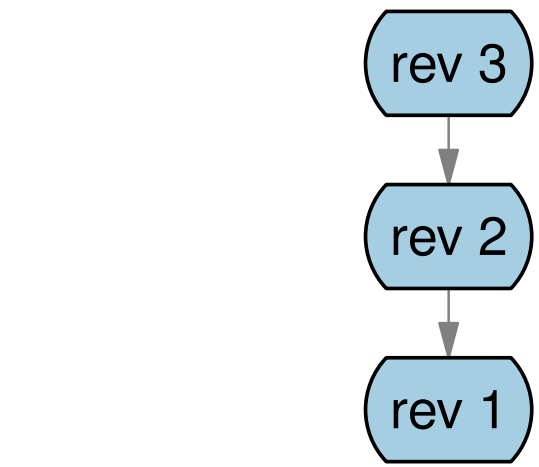




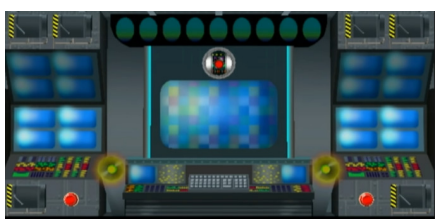
Serveur SVN

Contrôle de versions centralisé — *e.g.*, Subversion

Alice veut accéder au dépôt



Alice

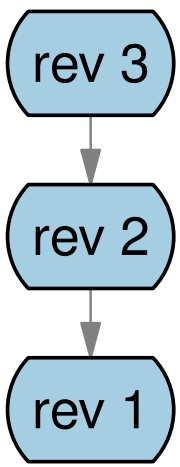


Serveur SVN

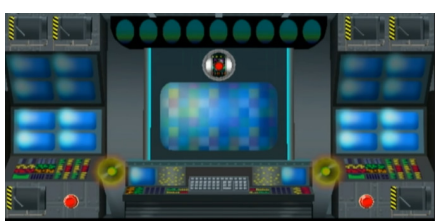
Contrôle de versions centralisé — *e.g.*, Subversion

Alice fait une copie locale

```
rapport.md
fig/fig1.png
```



svn checkout



Alice

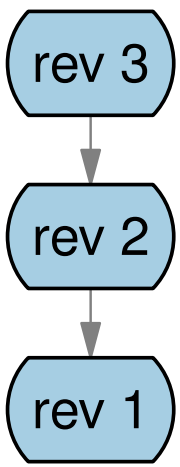
Serveur SVN

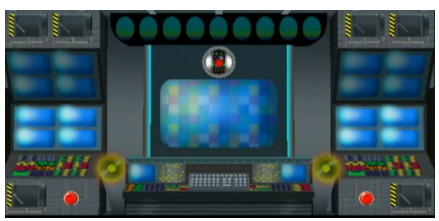
Contrôle de versions centralisé — *e.g.*, Subversion

Alice modifie/ajoute des fichiers

```
* rapport.md
  fig/fig1.png
* fig/fig2.png
```

Alice

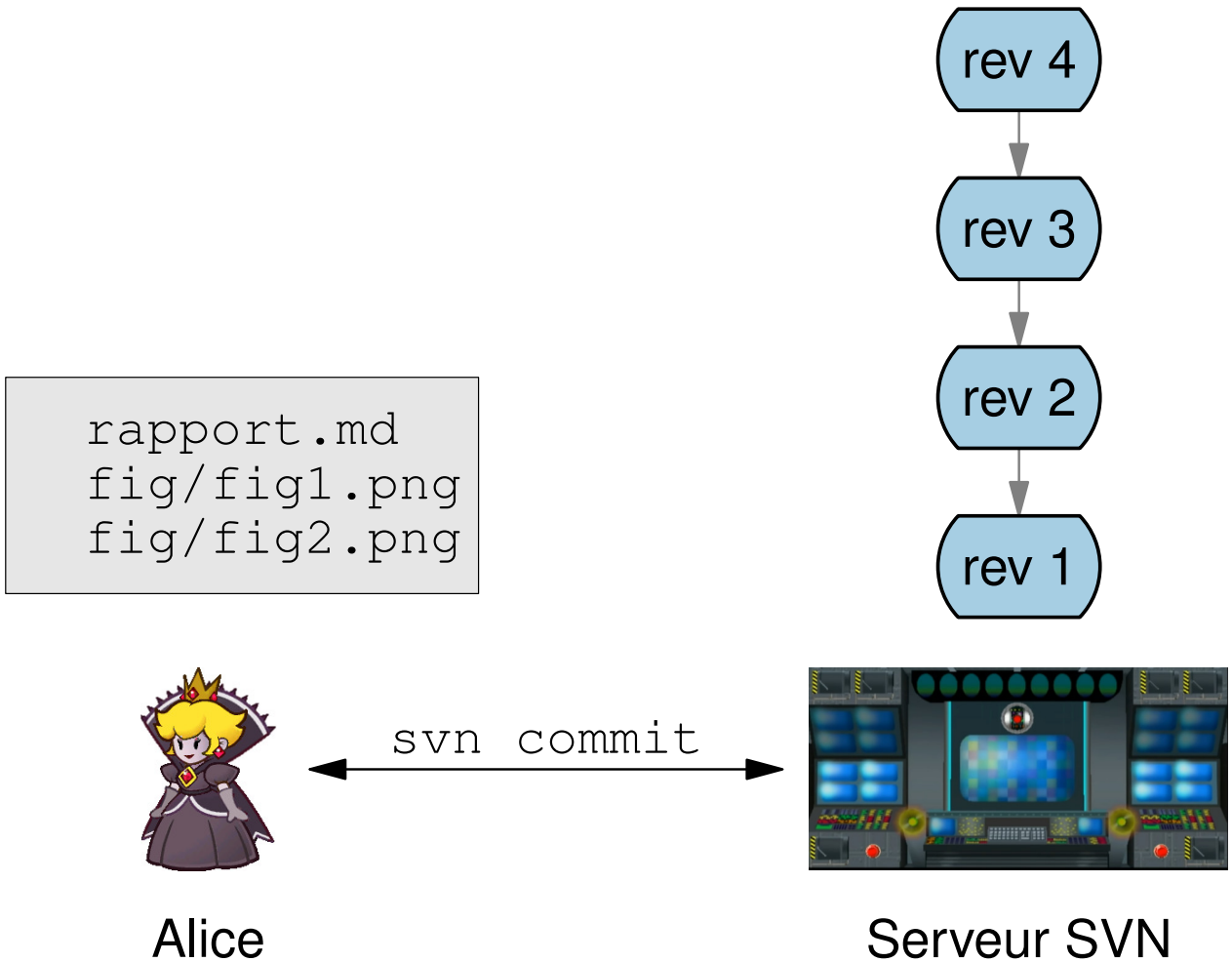




Serveur SVN

Contrôle de versions centralisé — *e.g.*, Subversion

Alice crée une nouvelle version

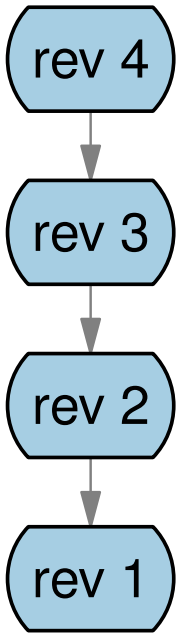


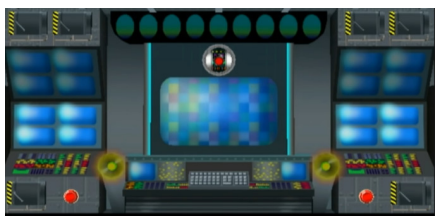
Contrôle de versions centralisé — *e.g.*, Subversion

Alice modifie un fichier

```
* rapport.md
  fig/fig1.png
  fig/fig2.png
```

Alice

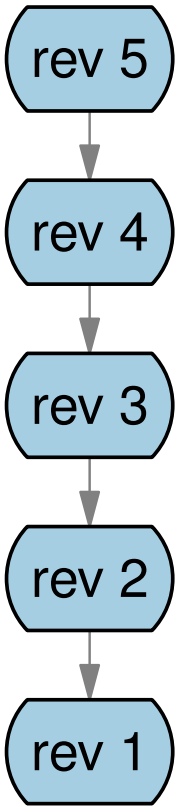




Serveur SVN

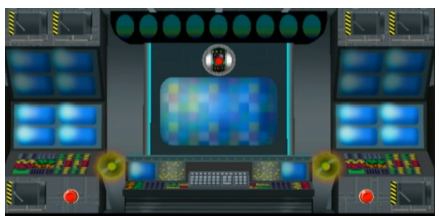
Contrôle de versions centralisé — *e.g.*, Subversion

Alice crée une nouvelle version




```
rapport.md
fig/fig1.png
fig/fig2.png
```

`svn commit`



Alice

Serveur SVN

Contrôle de versions centralisé — *e.g.*, Subversion

Fonctionnement résumé

- Un serveur **central** gère les versions
- Les utilisateurs sont des clients qui interagissent avec le serveur
  - Pour récupérer une version
  - Pour soumettre une nouvelle version
  - Pour faire diverses requêtes (différences entre versions...)
- Par conséquent, l'historique est très linéaire

Contrôle de versions centralisé — *e.g.*, Subversion

Fonctionnement résumé

- Un serveur **central** gère les versions
- Les utilisateurs sont des clients qui interagissent avec le serveur
  - Pour récupérer une version
  - Pour soumettre une nouvelle version
  - Pour faire diverses requêtes (différences entre versions...)
- Par conséquent, l'historique est très linéaire

Problèmes

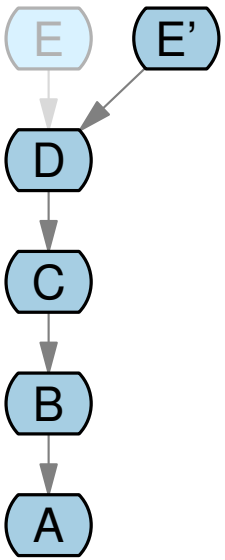
- Impossible de créer des versions locales
  (client sans accès internet, serveur en panne...)
- Conflits fréquents, intégration délicate
  (intégration incluse dans *vraies* modifs d'une feature/bugfix)
- Difficile de travailler en parallèle
  (plusieurs développeurs sur les mêmes fichiers,
  un développeur qui travaille sur plusieurs features...)

Contrôle de versions décentralisé — *e.g.*, Git

Alice crée un dépôt local

Alice

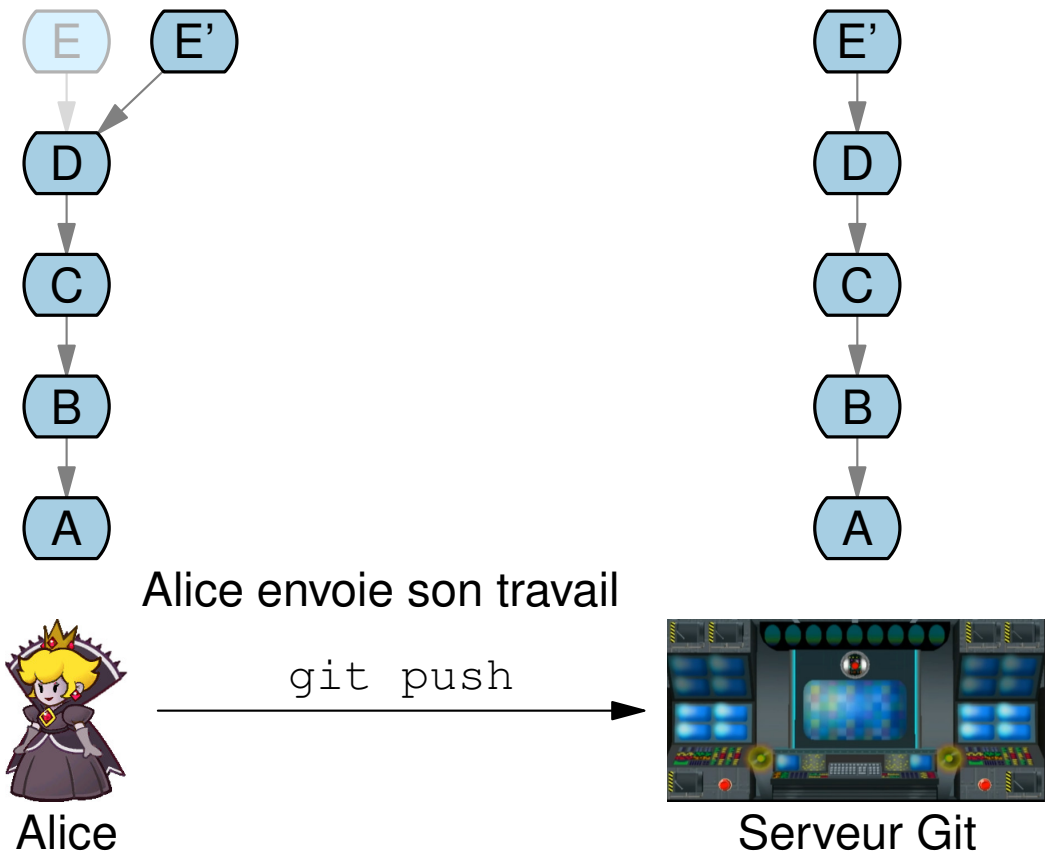
Contrôle de versions décentralisé — *e.g.*, Git



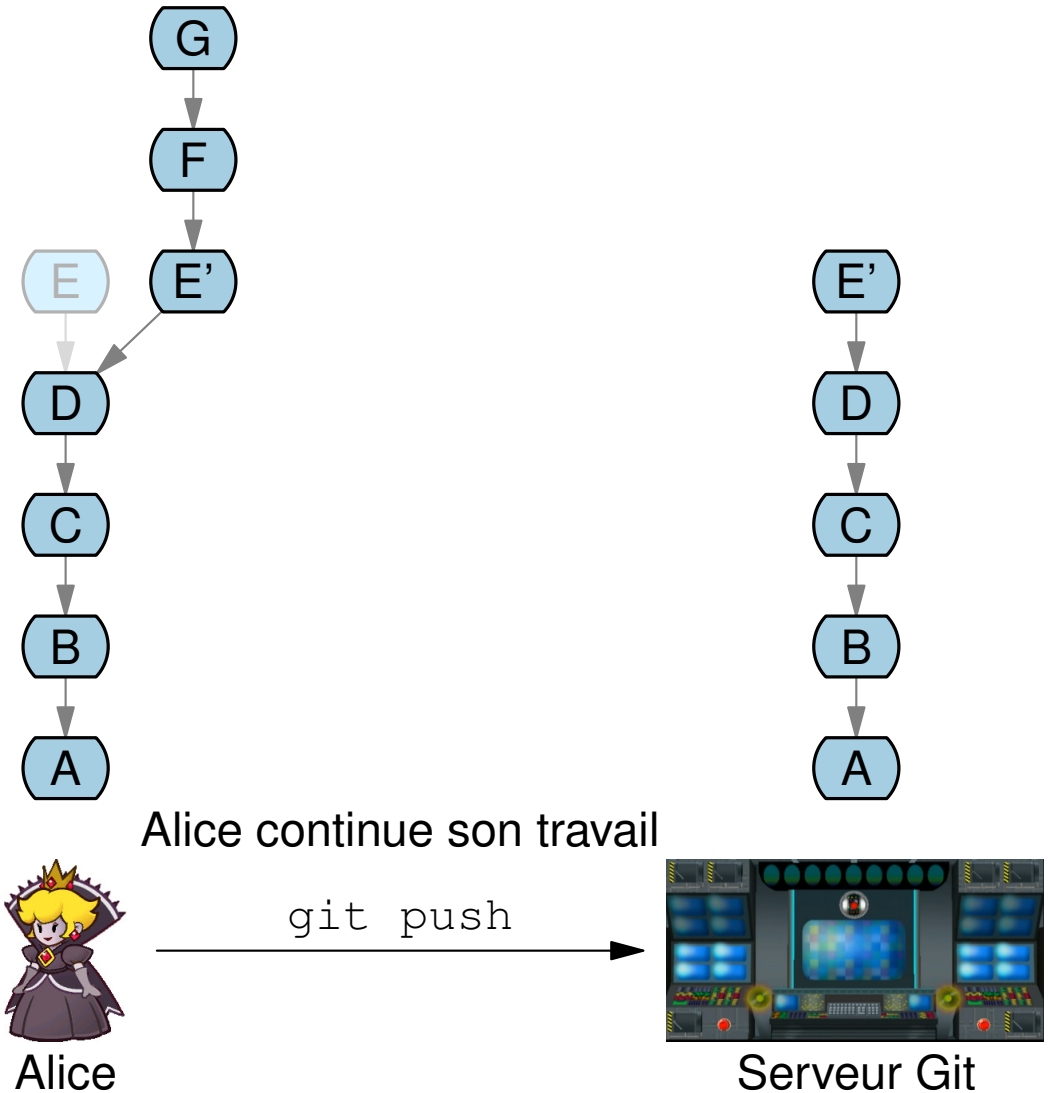
Alice travaille en local

Alice

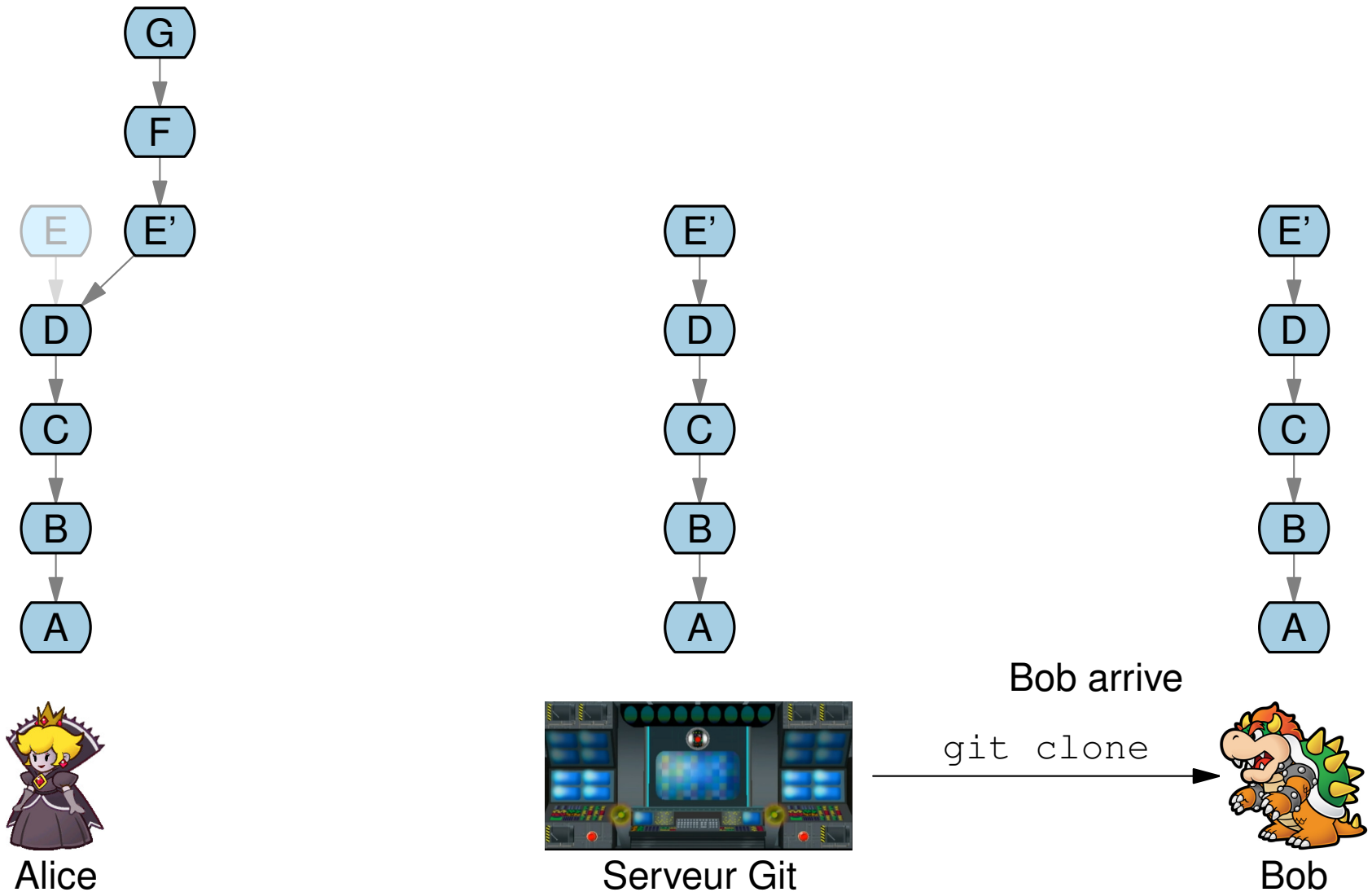
Contrôle de versions décentralisé — *e.g.*, Git



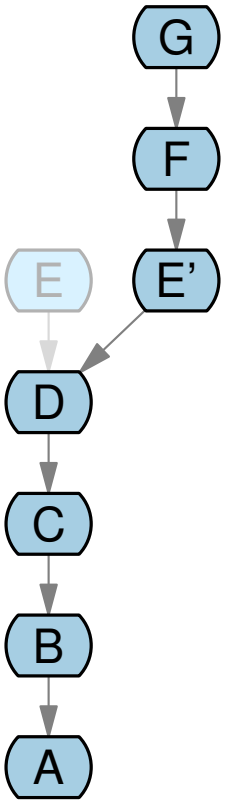
Contrôle de versions décentralisé — *e.g.*, Git



Contrôle de versions décentralisé — *e.g.*, Git

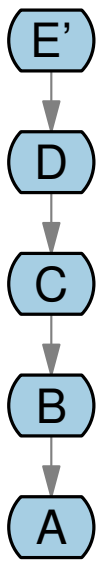


Contrôle de versions décentralisé — *e.g.*, Git

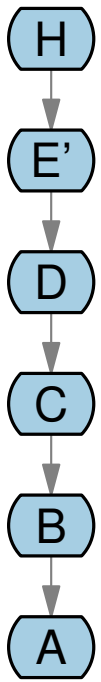


Alice

Serveur Git

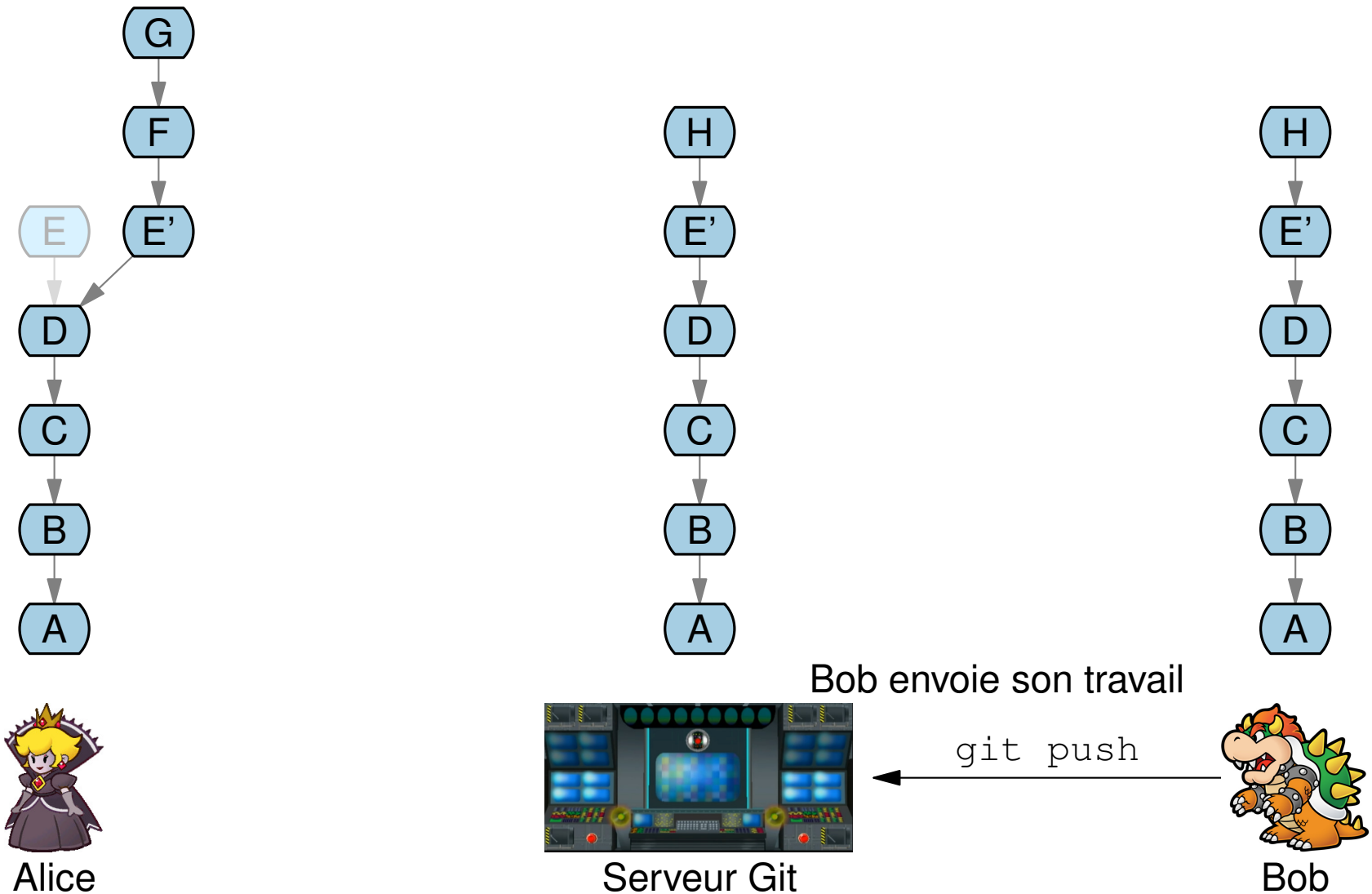


Bob travaille

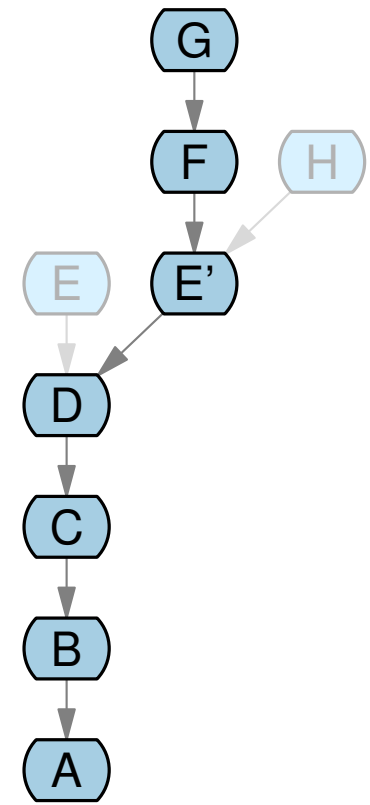


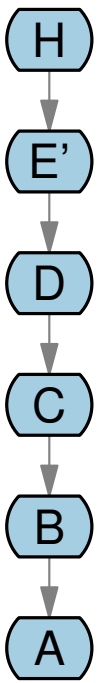
Bob

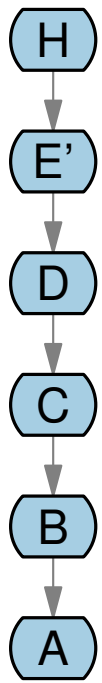
Contrôle de versions décentralisé — *e.g.*, Git



Contrôle de versions décentralisé — *e.g.*, Git





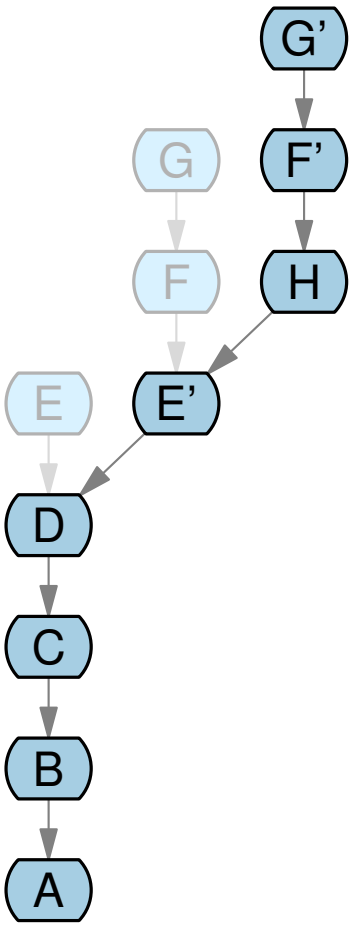


Alice se synchronise

`git fetch`

Alice Serveur Git Bob

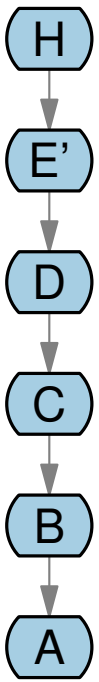
Contrôle de versions décentralisé — *e.g.*, Git



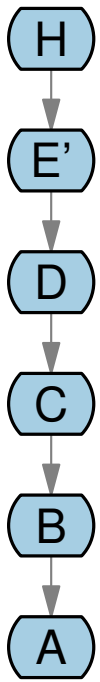
Alice gère l'intégration

Alice

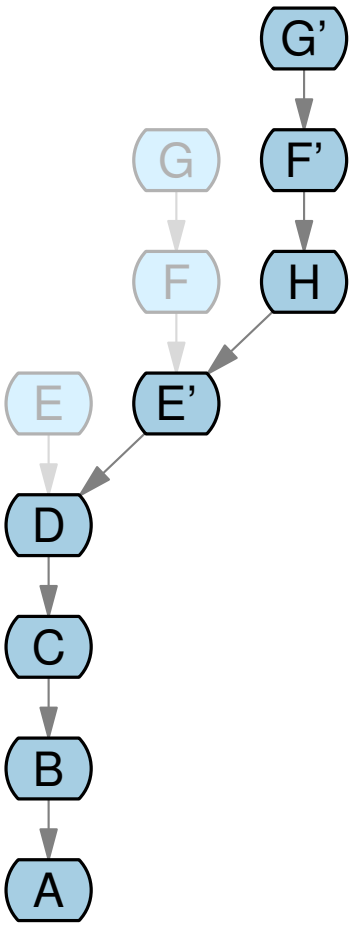
Serveur Git

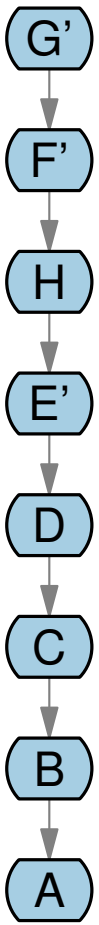


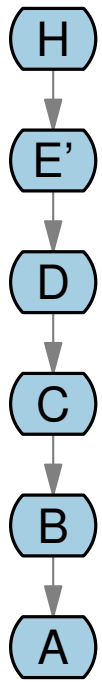
Bob



Contrôle de versions décentralisé — *e.g.*, Git

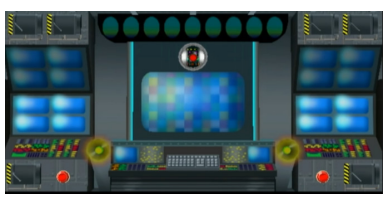






Alice envoie son travail

`git push`



Alice Serveur Git Bob

Contrôle de versions décentralisé — *e.g.*, Git

Fonctionnement résumé

- Chaque utilisateur a un historique local
- Se synchroniser = échanger des bouts d'historique
- Intégrer = gérer un historique distribué
- Le serveur est inutile[1], on peut s'échanger l'historique sans
- L'historique est assez arborescent

Problèmes ?

- Demande une certaine aise en manipulation d'arbres
- Bénéfices du contrôle local et centralisé, sans les inconvénients

1. Un dépôt central est très souvent utilisé pour des raisons pratiques : accès persistant, unicité de la "dernière version à jour", documentation, bug tracker...

À quoi sert un gestionnaire de version aujourd'hui ?

- Historique de versions, traçabilité, maintenabilité
- Base pour d'autres outils
- Système de backup simple
- Travail collaboratif
  - Intégration traçable des apports de chacun
  - Base de toutes les méthodologies de dev récentes

3 Git (1)

- Concepts clés
- Premiers pas, commandes Git...

Commits

Définition

- C'est un état (*snapshot*) de tout le dépôt Git
- C'est l'unité de base de travail en Git
- Tout travail *commité* peut être récupéré[2] plus tard
- Identifié par un *hash* unique au dépôt — *e.g.*, `e9ed0f`

Contenu

- Contenu des fichiers suivis par Git (et leurs métadonnées)
- Un message de commit. Primordial pour traçabilité (humains)
- Référence vers les commits parents — 1, 2, 0, 66[3]...

2. Sauf appel explicite du GC ou suppressions manuelles de fichiers dans `.git`
3. https://www.destroyallsoftware.com/blog/2017/the-biggest-and-weirdest-commits-in-linux-kernel-git-history

Branches, tags et HEAD

Branche

- C'est un pointeur **mobile** vers un commit
- Lorqu'on *commite* à partir d'une branche, la branche est mise à jour (elle pointe vers le nouveau commit)
- Branche par défaut : `master` (`main`)

Tag

- C'est un pointeur **constant** vers un commit
- Peut avoir un message associé (*annotated tag*)
- Utile pour marquer un commit particulier — *e.g.*, `v1.0.0`

HEAD

- Un pointeur vers le commit *courant*
- Pointe souvent vers une branche
- Peut pointer directement vers un commit (*detached HEAD*)

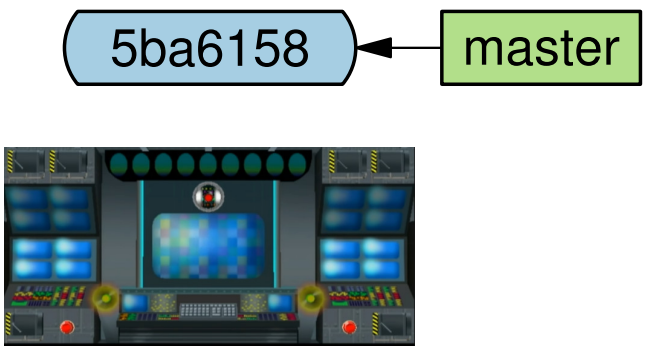
Remotes

Définition

- Dépôt distant avec lequel on peut se synchroniser
- Contient des branches distantes (*remote branches*)
- La synchronisation se fait le plus souvent via branches distantes

Illustration des concepts Git

Alice crée un dépôt sur GitHub, avec un README



Serveur Git

Illustration des concepts Git

Alice fait une copie locale du dépôt

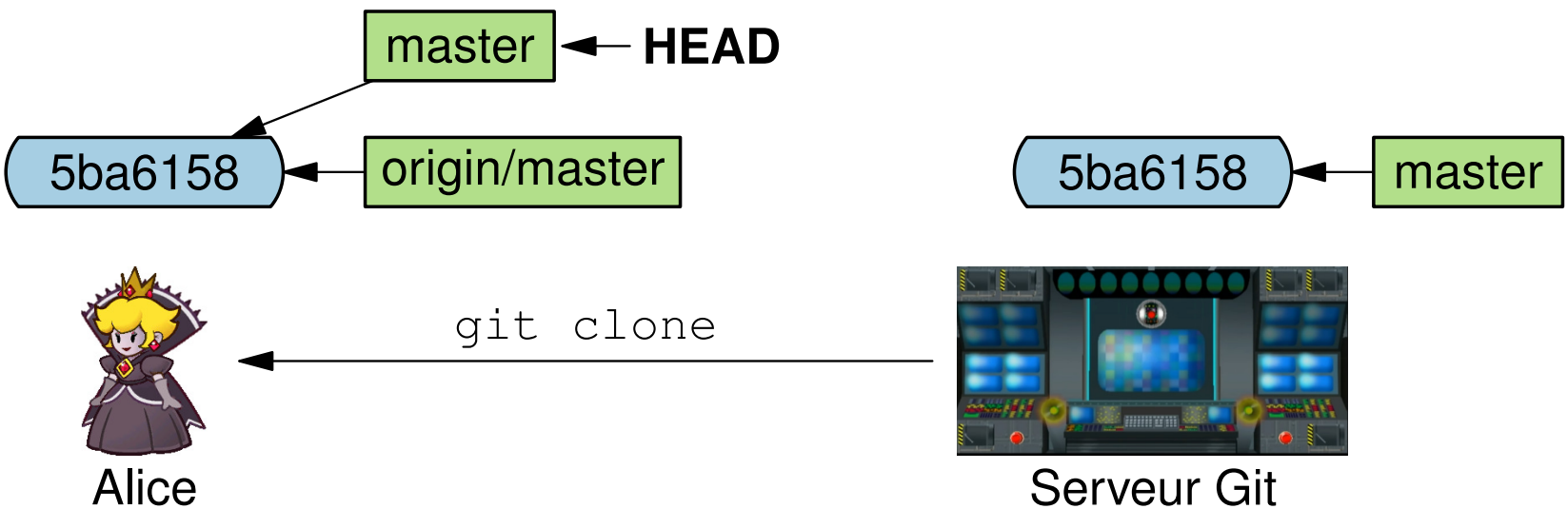
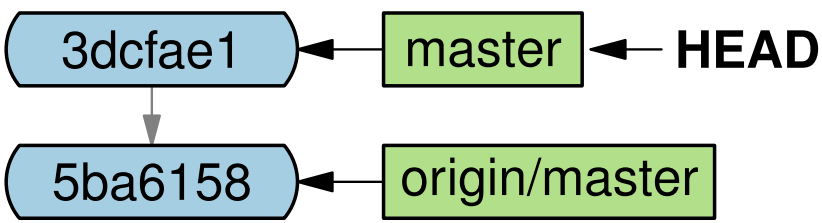
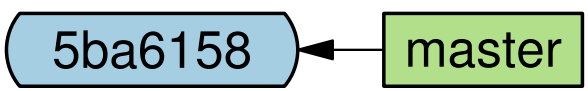


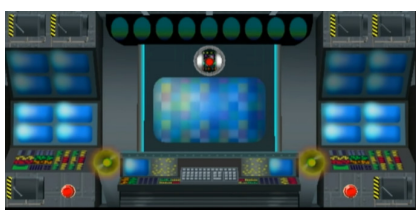
Illustration des concepts Git

Alice travaille





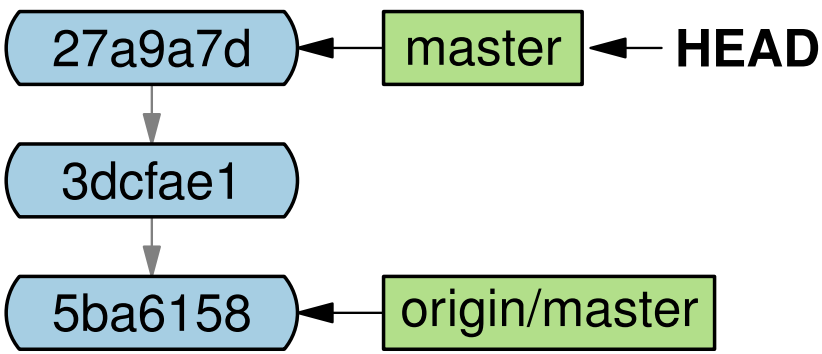
Alice

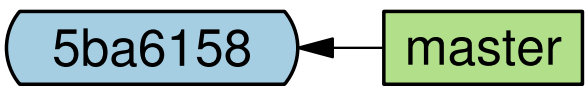


Serveur Git

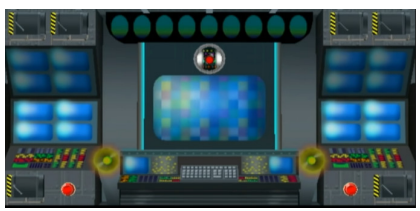
Illustration des concepts Git

Alice travaille (encore)





Alice



Serveur Git

Illustration des concepts Git

Alice partage sa branche

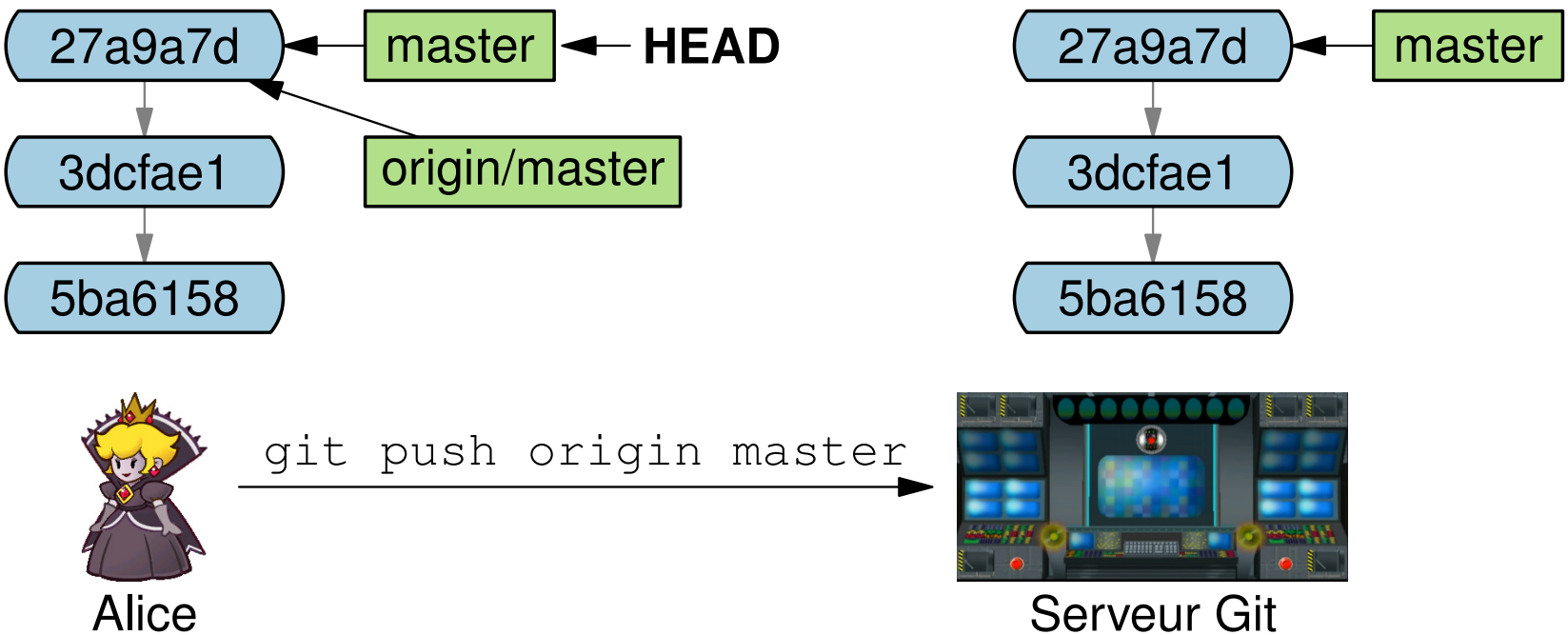
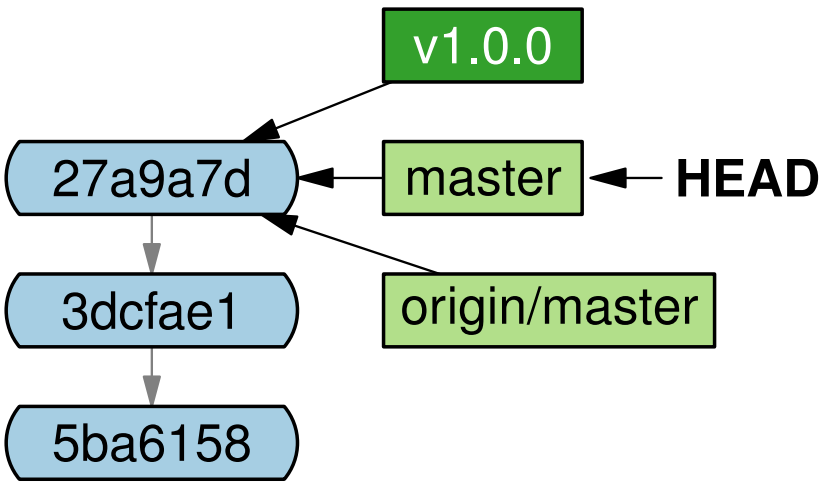
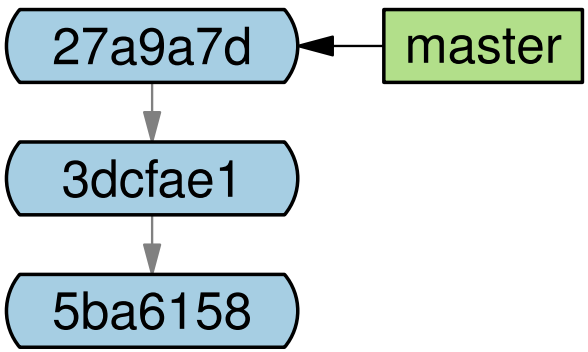


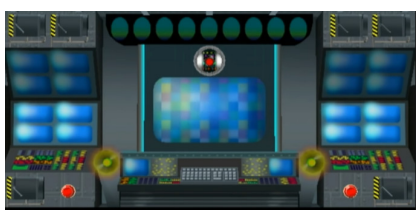
Illustration des concepts Git

Alice crée un tag





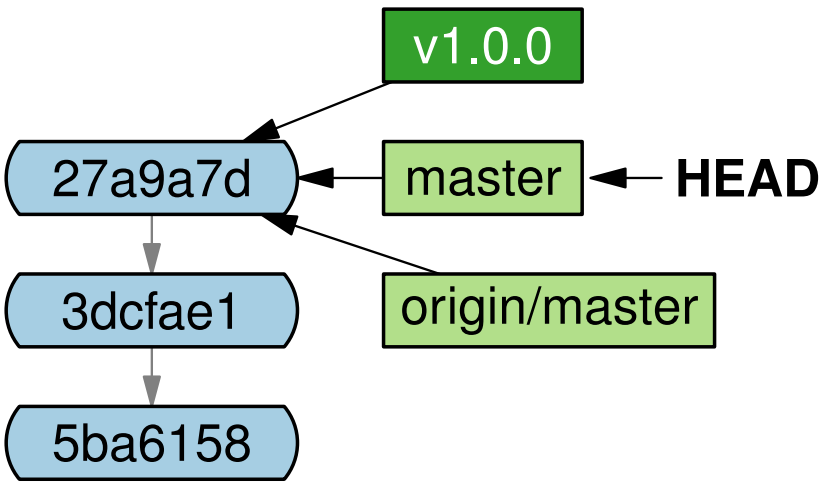
Alice

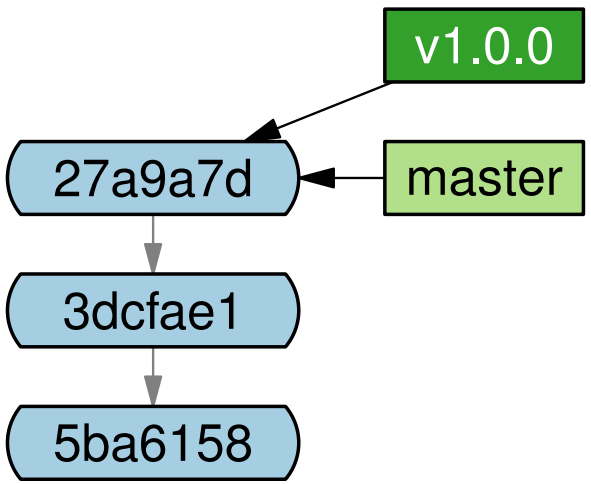


Serveur Git

Illustration des concepts Git

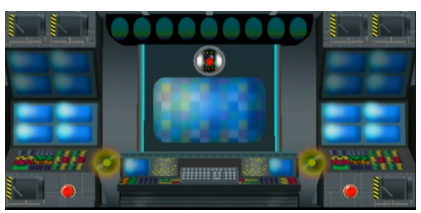
Alice partage son tag





Alice

```
git push origin v1.0.0
```



Serveur Git

Les trois arbres Git

Les commandes git peuvent être déroutantes à première vue.

Leur organisation est logique quand on sait que Git manipule trois structures de données en interne.

- Le répertoire de travail — *sandbox* de travail
- L'*index* ou *staging area* — zone tampon pour créer un commit
- L'arbre des commits — contient l'historique

3 Git (1)

- Concepts clés
- Premiers pas, commandes Git...

Fichiers internes à Git, configuration

Tous les fichiers internes de Git sont stockés dans le répertoire `.git` (à la racine du dépôt).

Git a beaucoup d'options de configuration.
Elles sont stockées dans des fichiers, dont voici les principaux.

- `${HOME}/.gitconfig` (globale)
- `.gitconfig` à la racine d'un dépôt (spécifique au dépôt)

Éditables directement (`vim ~/.gitconfig`) ou via des commandes Git (`git config --global alias.chk checkout`).

Initialisation d'un dépôt Git

Création d'un dépôt local vide

- `git init [<repo>]`

Récupération d'un dépôt existant

- `git clone <repo-url> [<dir>]`

Options utiles si on ne veut que la dernière version.

- `--single-branch` : synchronise une seule branche
- `--branch <branch>` : spécifie la branche par défaut
- `--depth 1` : 1 seul commit au lieu de tout l'historique

Exemples

- `git init ${HOME}/projects/my-awesome-project`
- `git clone https://github.com/python/cpython.git`

Je suis perdu, que faire ?

`git status`

- Montre votre état courant (branche, synchronisation distante...)
- Montre votre *staging area*
- Montre comment sortir de situations épineuses (`rebase`...)

```
On branch master
Your branch is up to date with gitlab/master.

Changes to be committed:
  (use "git restore --staged <file>..." to unstage)
  modified:   slides/version-control.md

Changes not staged for commit:
  (use "git add <file>..." to update what will be committed)
  (use "git restore <file>..." to discard changes in working directory)
  modified:   fig/branch.asy
```

Création de commits

Enregistrement des modifications à commiter

- `git add <path>...`
- `git rm <path>...`

Options de `git add`.

- `-f`, `--force` : force l'ajout (cf. `.gitignore`)
- `-p`, `--patch` : sélection interactive des blocs à ajouter.
  Utile pour se relire avant de commit une bêtise.

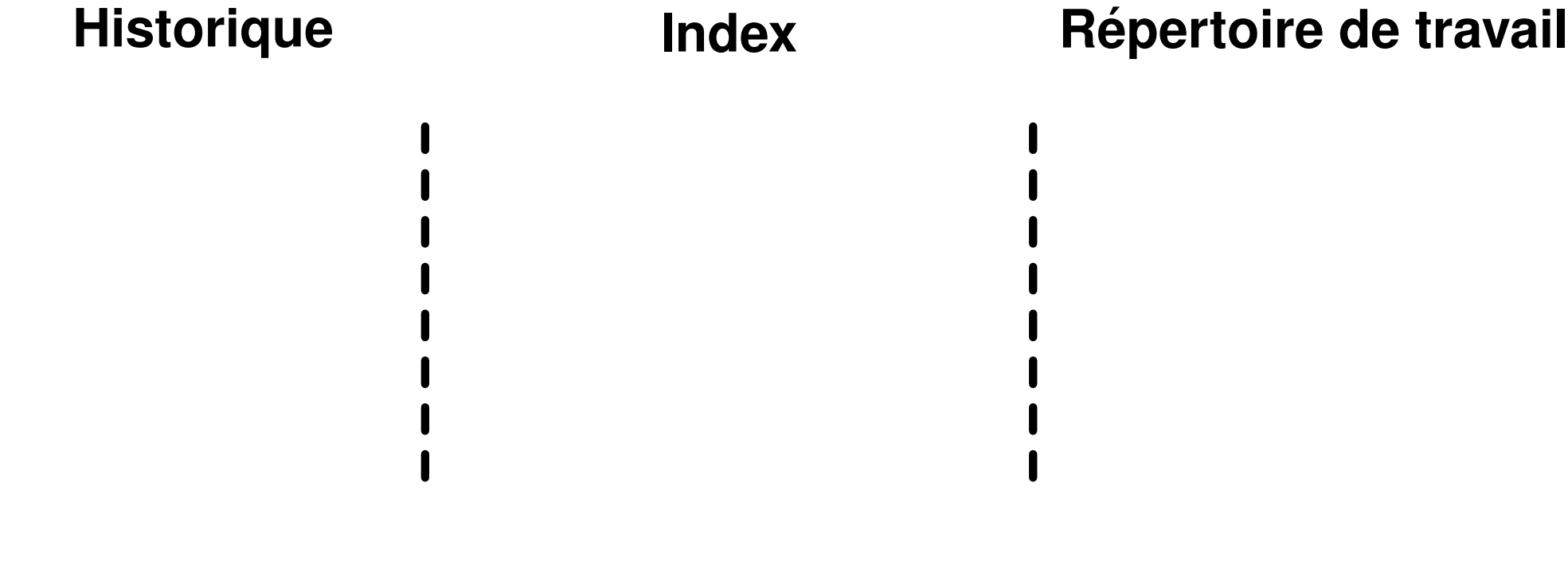
Création du commit

- `git commit [-m <message>]`

Options.

- `-a`, `--all` : ajoute toute modification des fichiers suivis par Git.
  À éviter car favorise le commit de blocs indésirables.

Création de commits : exemple




```
$ git init
```

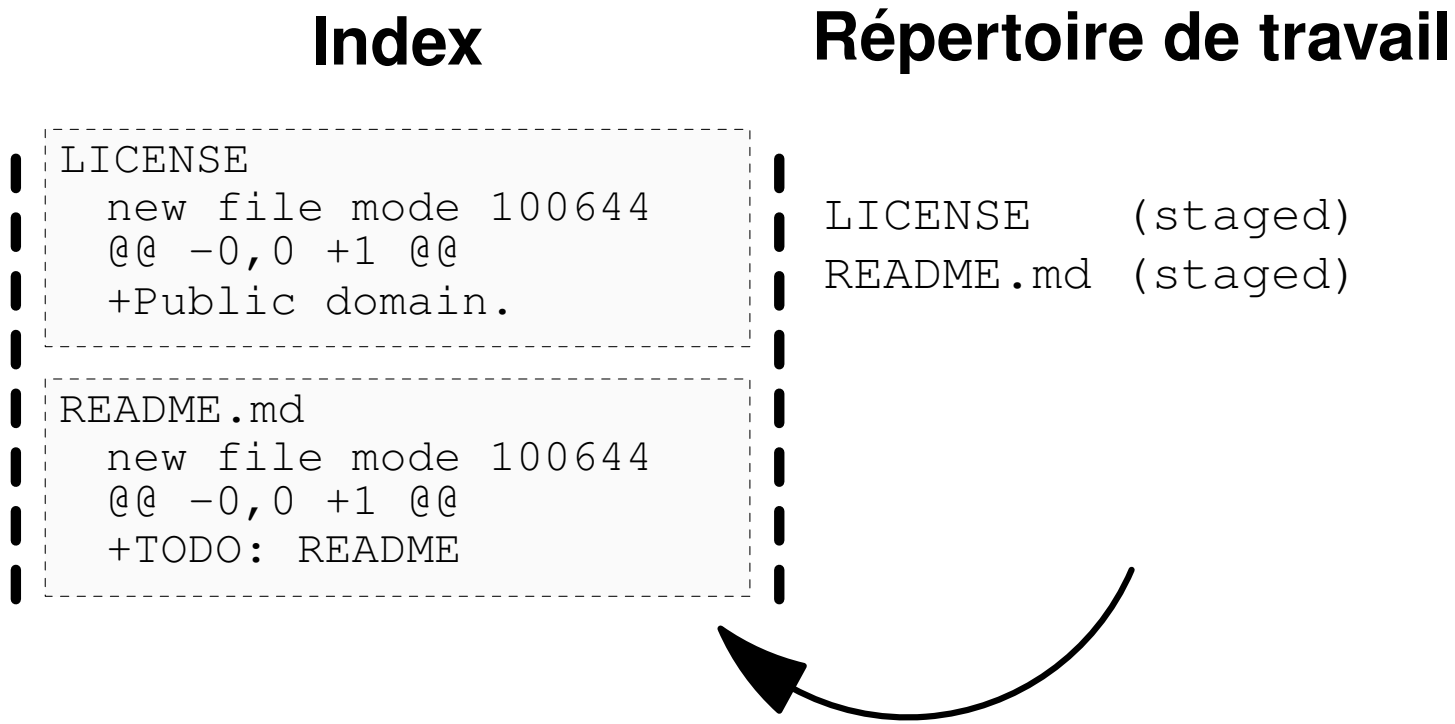
Création d'un dépôt local

Création de commits : exemple


```
$ vim LICENSE
$ vim README.md
```

Création de fichiers initiaux

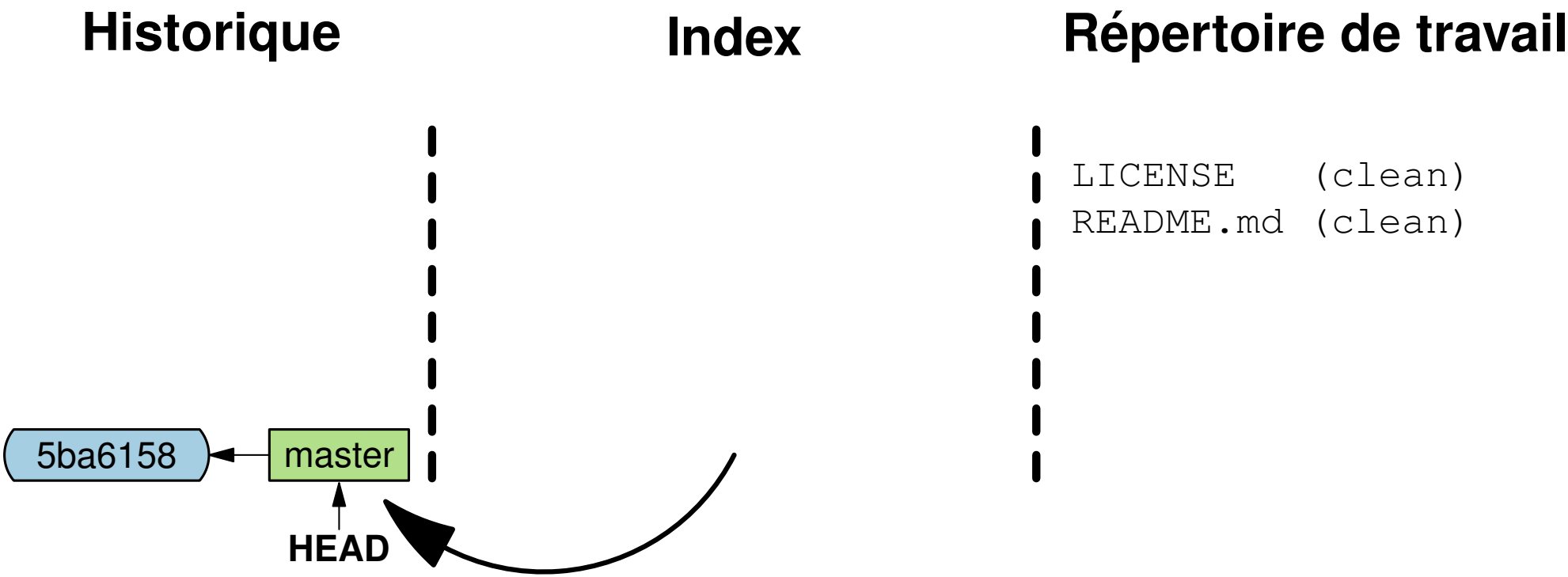
Création de commits : exemple




```
$ git add LICENSE README.md
```

Ajout des fichiers dans l'index

Création de commits : exemple

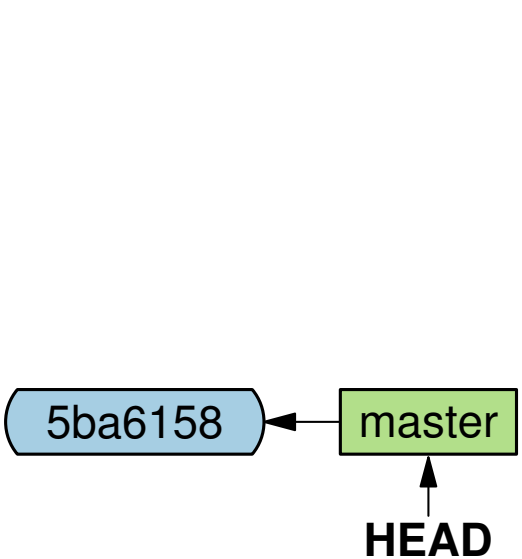



```
$ git commit -m 'initial commit'
```

Création du commit

Création de commits : exemple

Historique | **Index** | **Répertoire de travail**

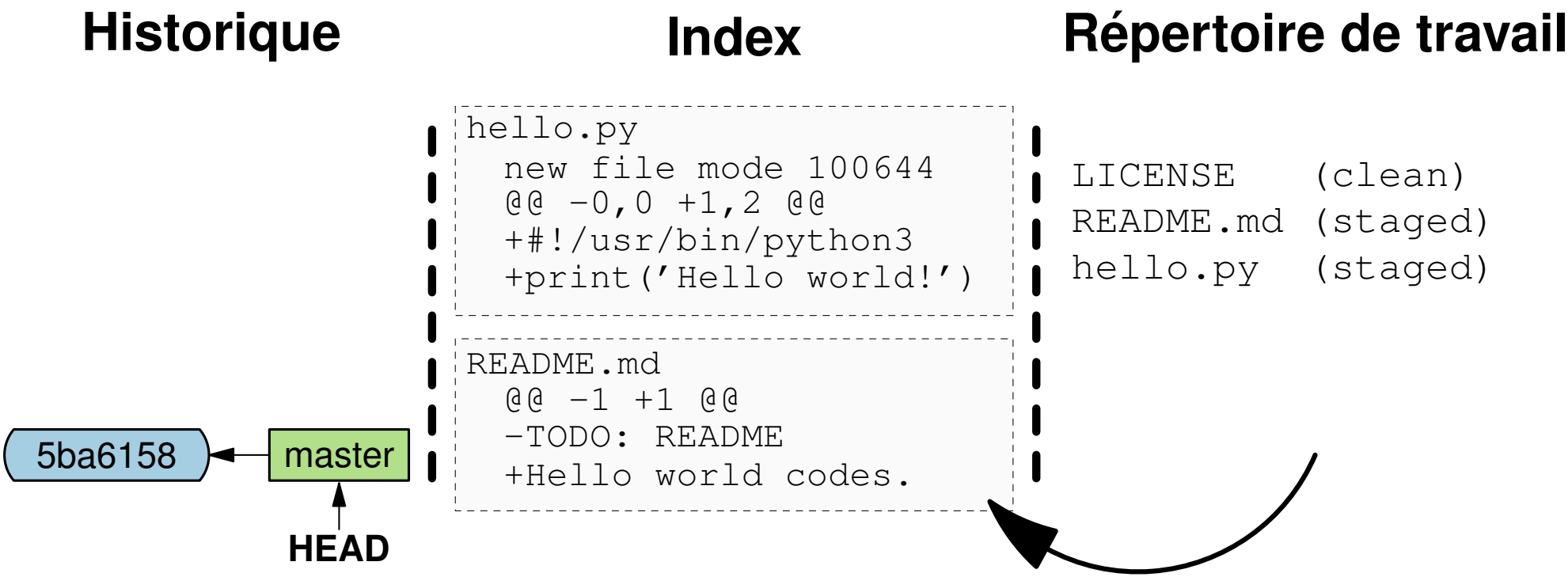



```
LICENSE    (clean)
README.md  (modified)
hello.py   (untracked)
```

```
$ vim hello.py
$ vim README.md
```

Travail sur hello.py et README.md

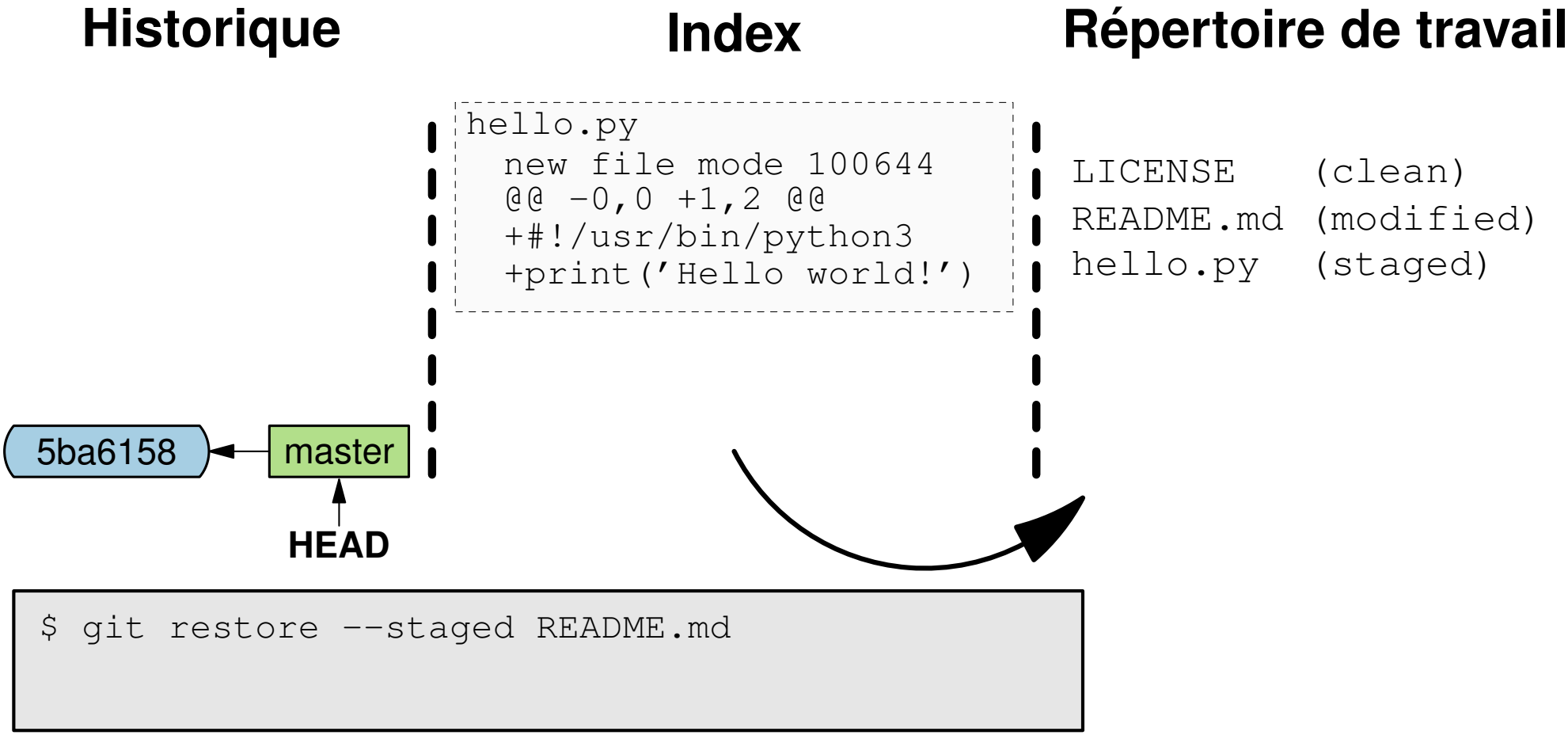
Création de commits : exemple




```
$ git add hello.py README.md
```

Ajout des fichiers dans l'index

Création de commits : exemple

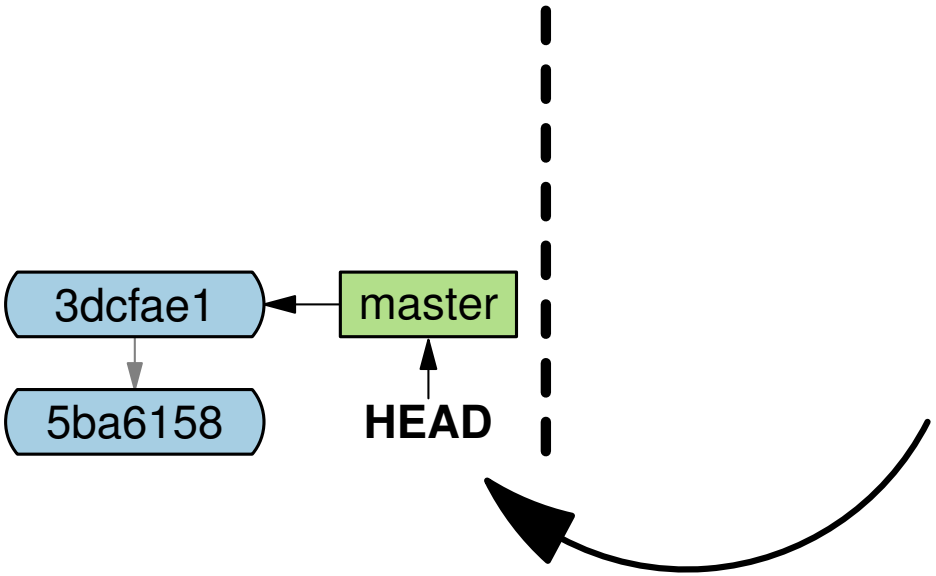



```
$ git restore --staged README.md
```

Oups : retrait de modifications non souhaitées

Création de commits : exemple

Historique | **Index** | **Répertoire de travail**

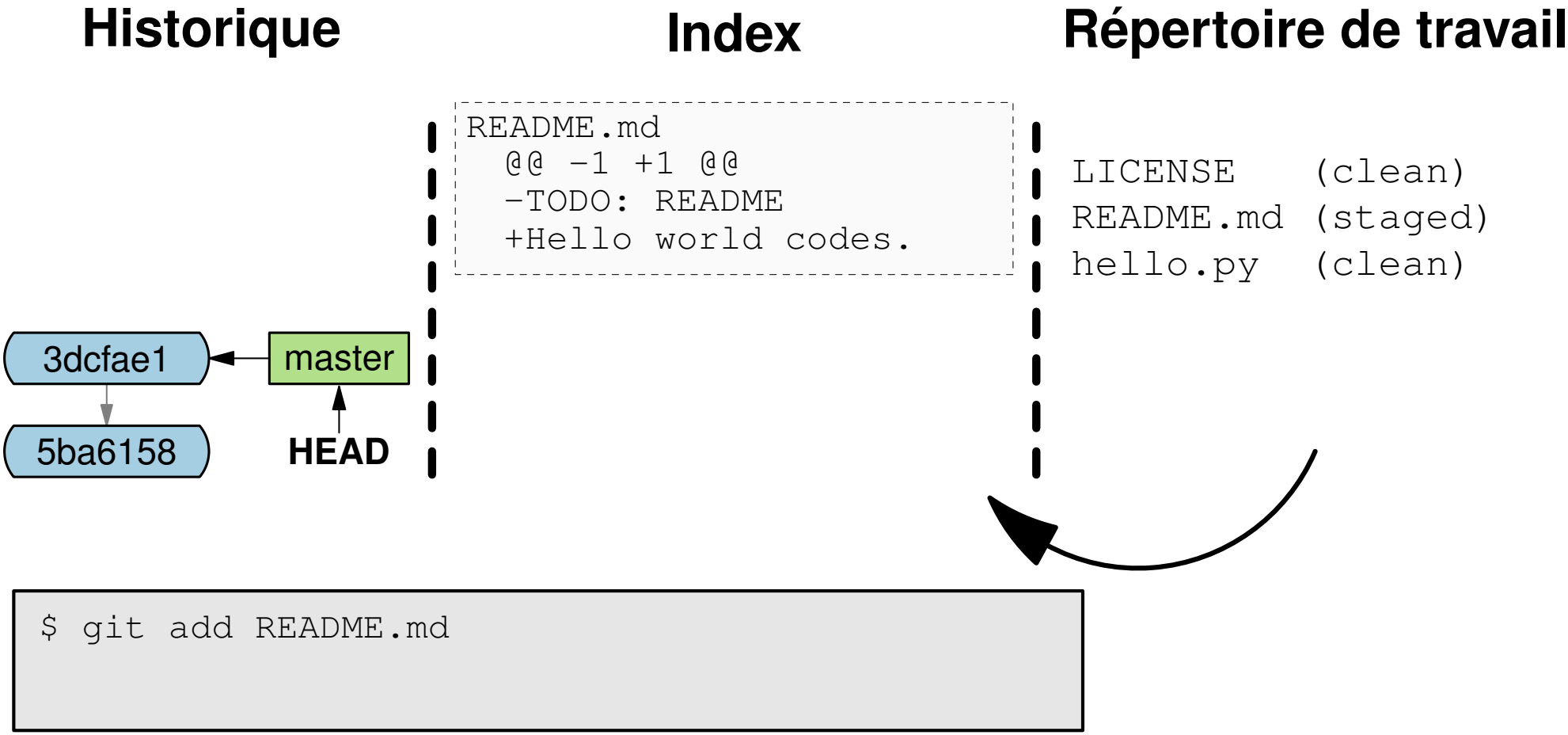



```
LICENSE    (clean)
README.md  (modified)
hello.py   (clean)
```

```
$ git commit -m 'python example'
```

Création du commit

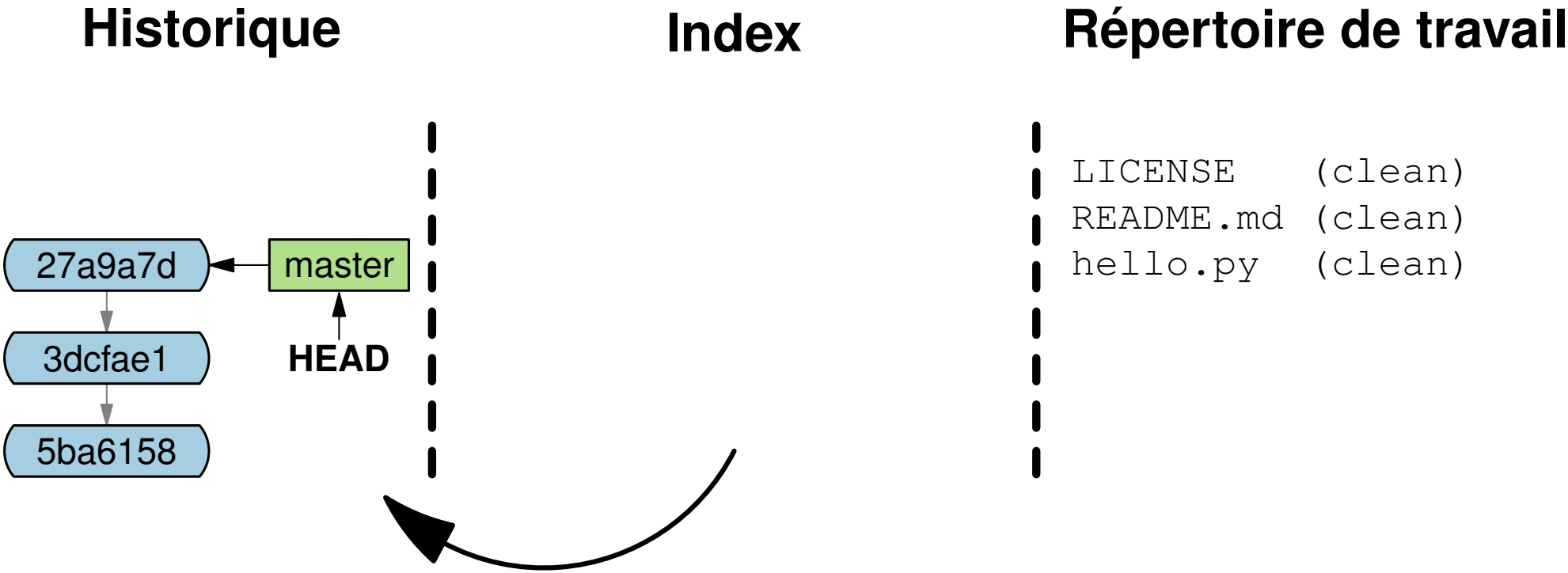
Création de commits : exemple




```
$ git add README.md
```

Ajout dans l'index

Création de commits : exemple

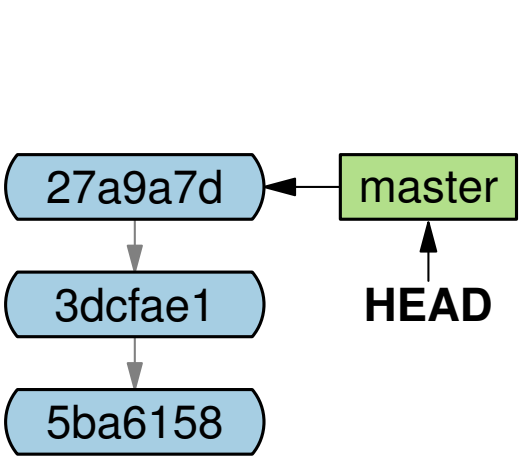



```
$ git commit -m 'doc: README'
```

Création du commit

Création de commits : exemple

Historique | **Index** | **Répertoire de travail**

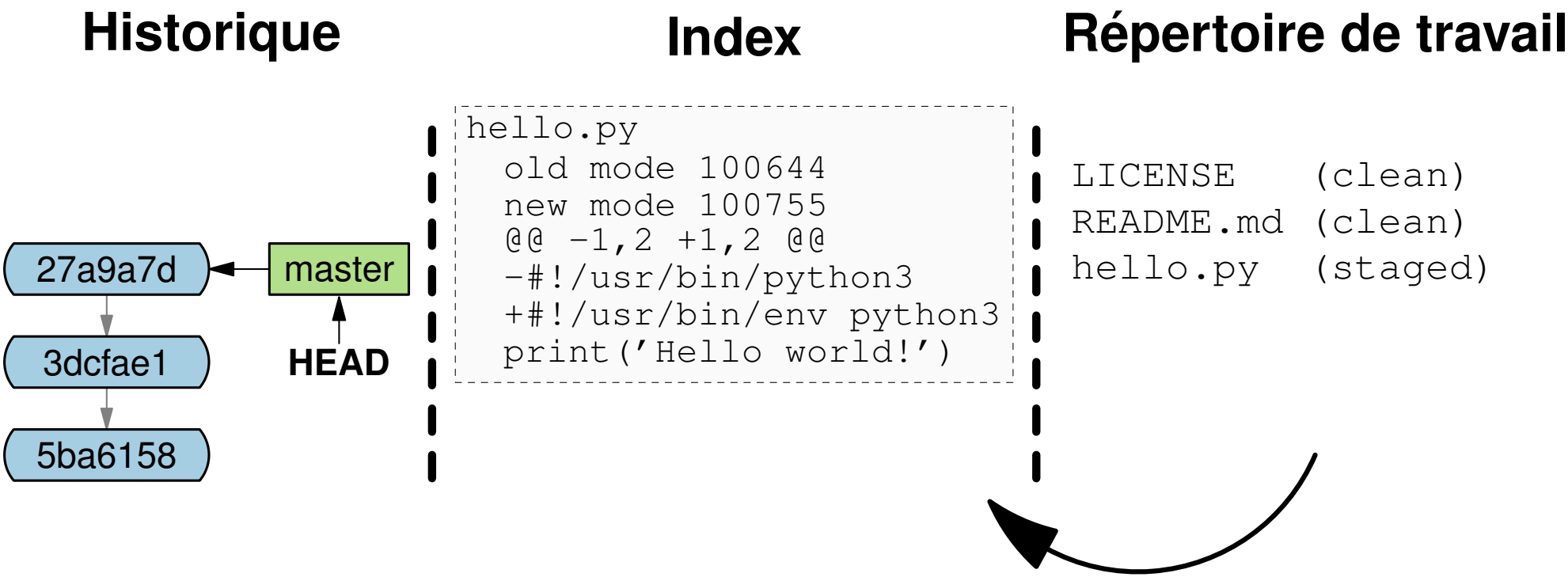



```
LICENSE    (clean)
README.md  (clean)
hello.py   (modified)
```

```
$ vim hello.py
$ chmod +x hello.py
```

Travail sur hello.py

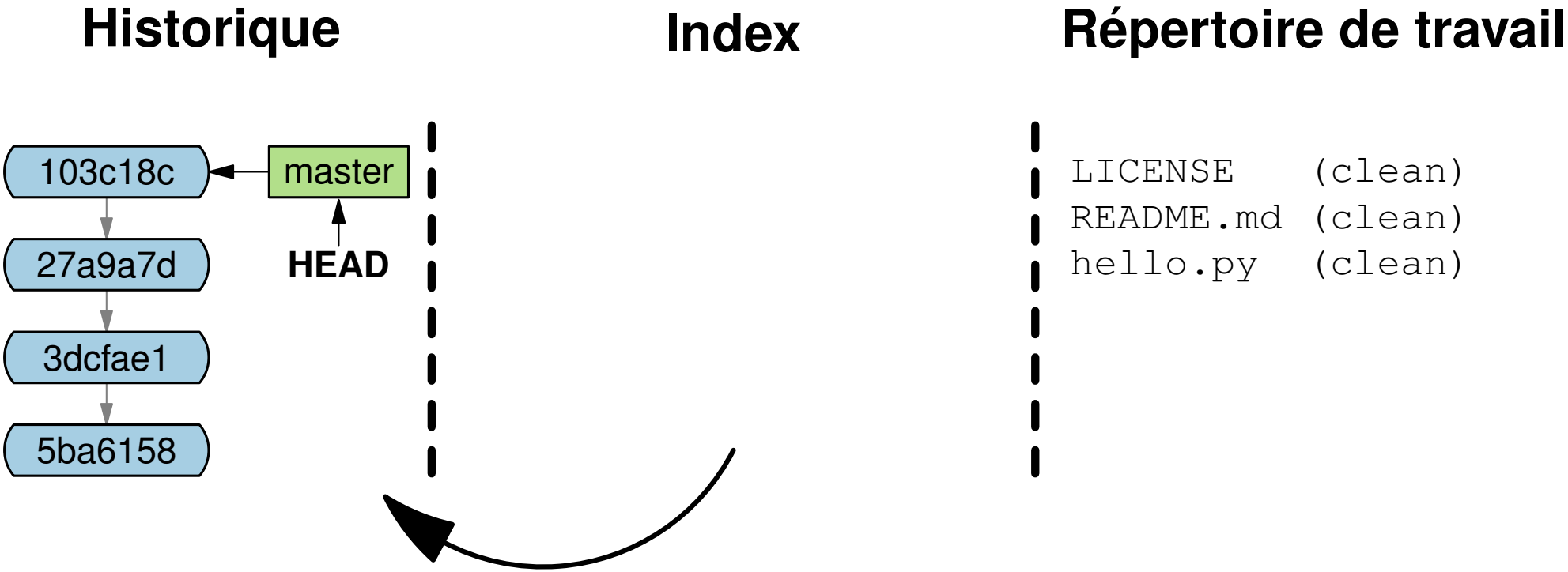
Création de commits : exemple




```
$ git add hello.py
```

Ajout dans l'index

Création de commits : exemple




```
$ git commit -m 'fix python example:  #!, mod+x'
```

Création du commit

Visualisation de l'historique

Arbre des commits

- `git log [<revision range>] [[--] <path>...]`

Options courantes.

- `--oneline` : concis (1 ligne par commit)
- `--graph` : parenté entre commits
- `--all` : affiche toutes les branches
- Celles de `git show`...

Un commit en particulier

- `git show [<commit>...] [[--] <path>...]`

Options courantes.

- `-p`, `--patch` : modifications du commit
- `--stat` : résumé des modifications par commit

Déplacement dans l'historique

Déplacement total (HEAD + répertoire de travail)

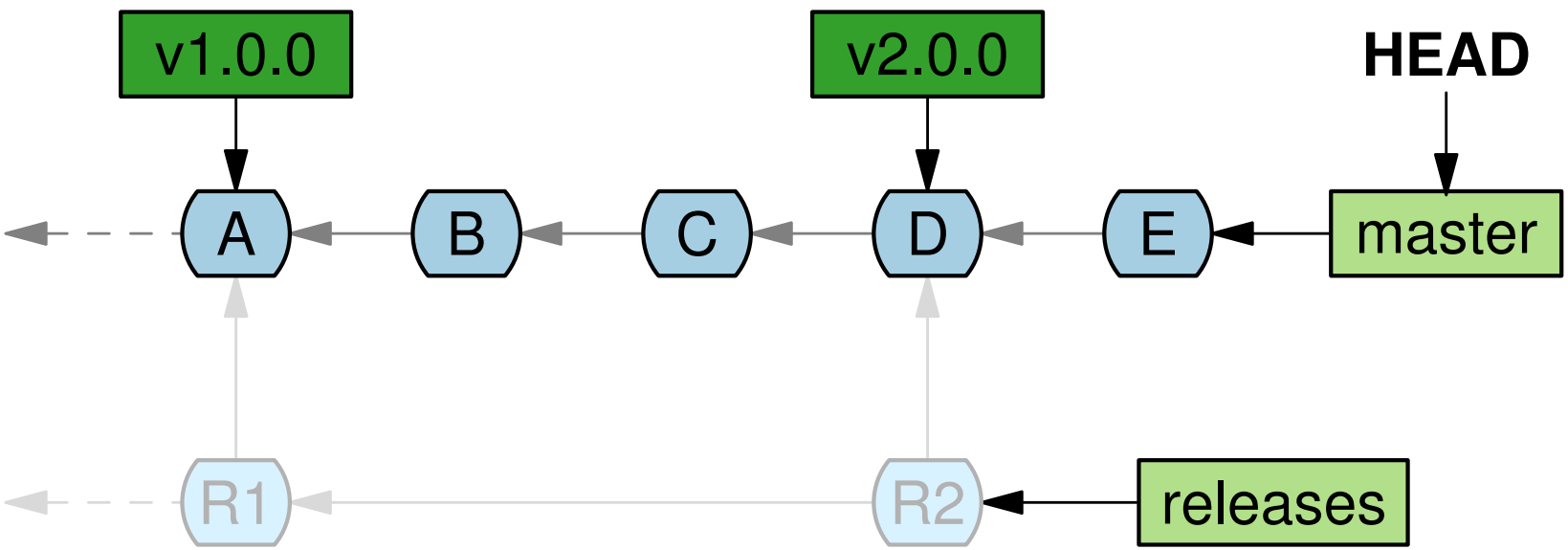
- `git checkout <branch>` : vers `<branch>`
- `git checkout <commit>` : vers `<commit>` (*detached HEAD*)

Ne déplacer que HEAD (conserver répertoire de travail)

- `git reset <t-ish>` : vers une branche, un commit, un tag...

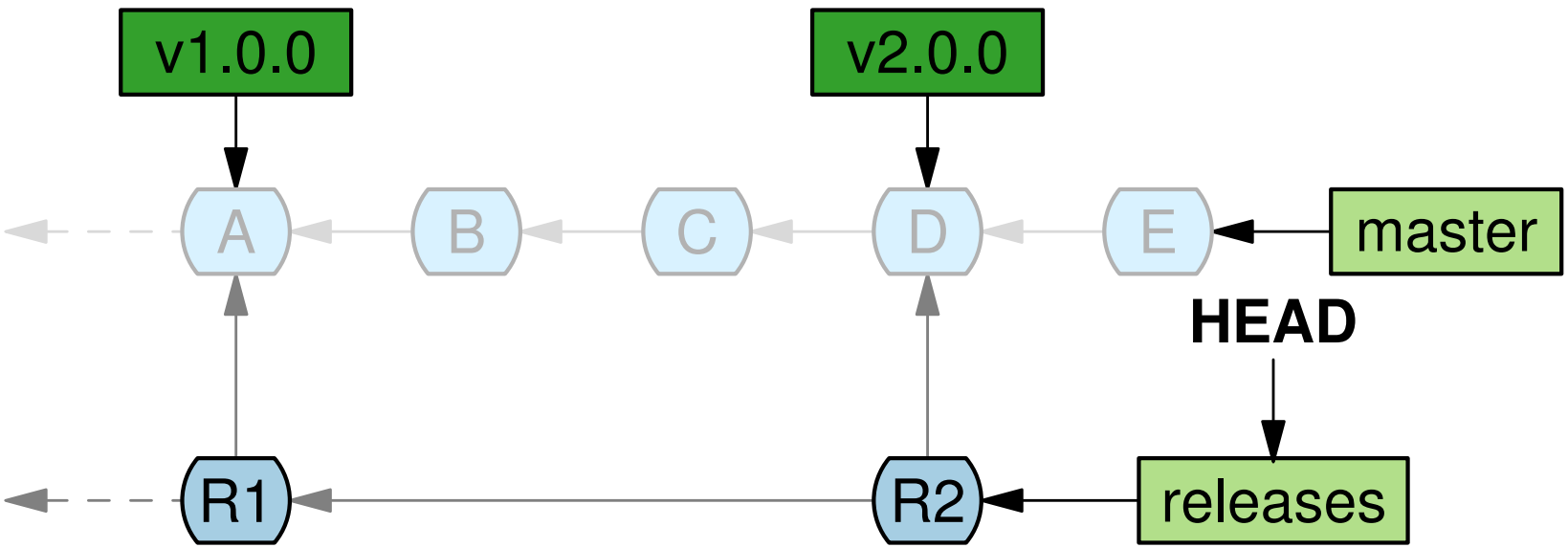
Déplacement dans l'historique : exemple

```
$ git checkout master
```



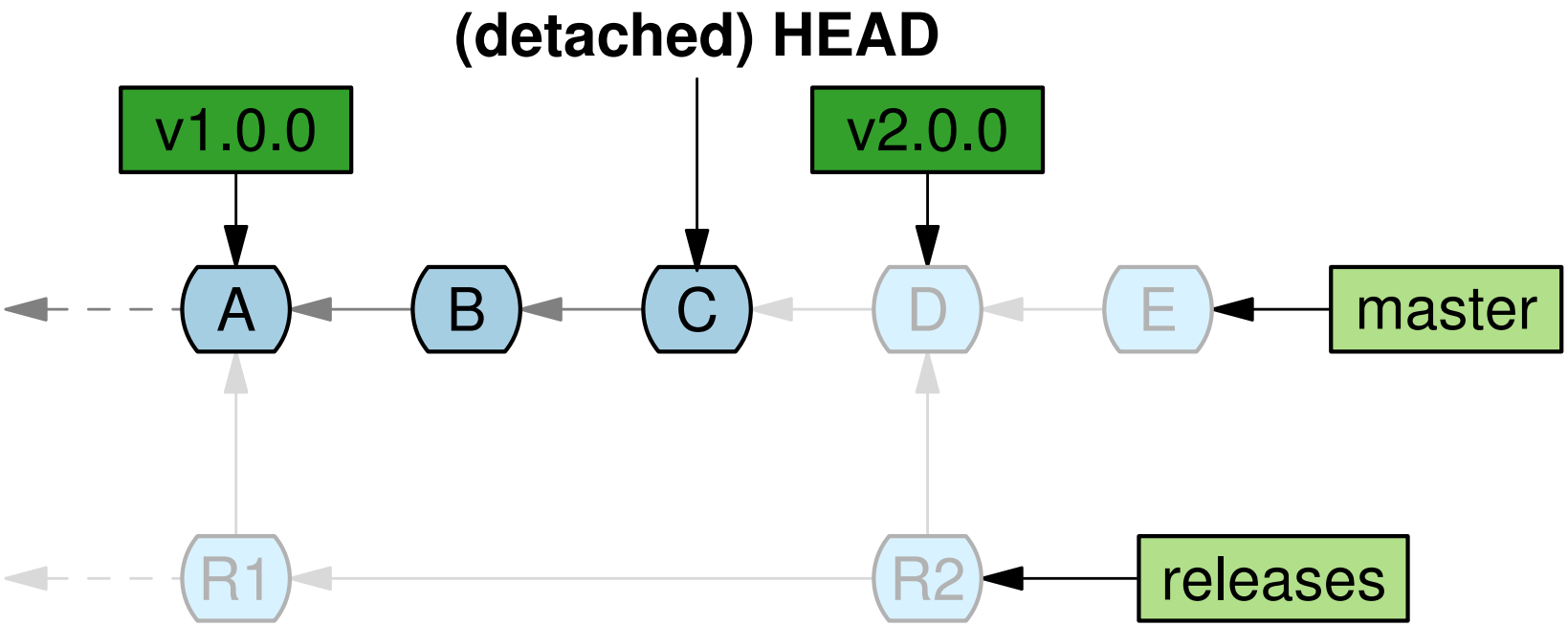
Déplacement dans l'historique : exemple

```
$ git checkout releases
```



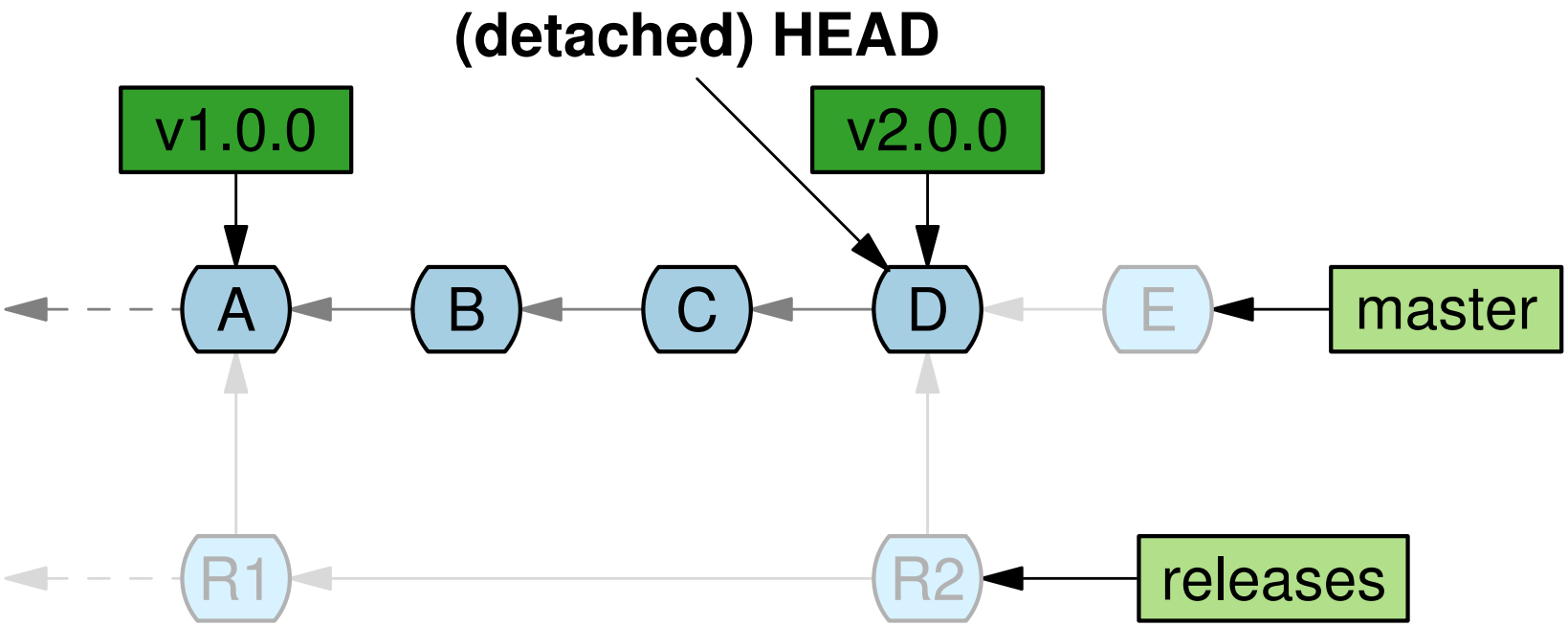
Déplacement dans l'historique : exemple

```
$ git checkout C
```



Déplacement dans l'historique : exemple

```
$ git checkout v2.0.0
```



4 Git (2)

- Gestion de branches

Créer une branche

Sans s'y déplacer (HEAD inchangé)

- `git branch <branch-name> [<start-point>]`

Options courantes.

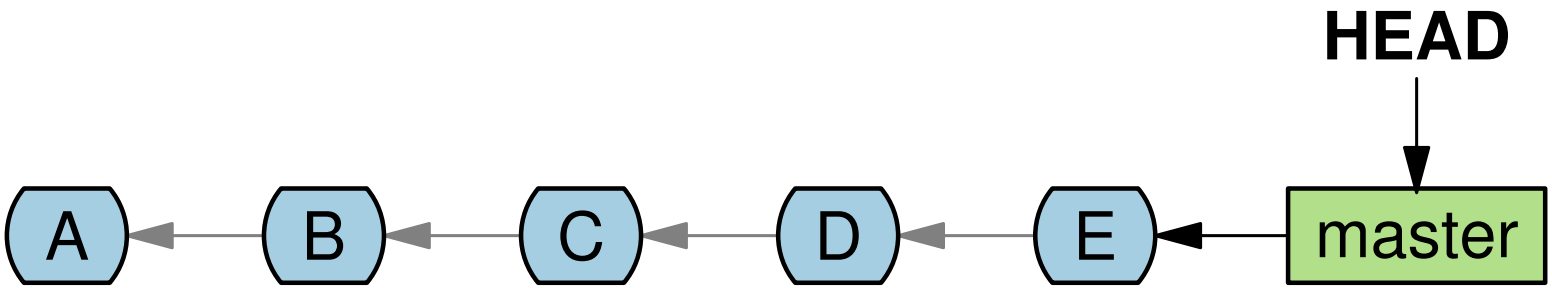
- `-f`, `--force` : met à jour `<branch-name>` si elle existe déjà

En s'y déplaçant (HEAD pointe vers la nouvelle branche)

- `git checkout -B <branch-name> [<start-point>]`

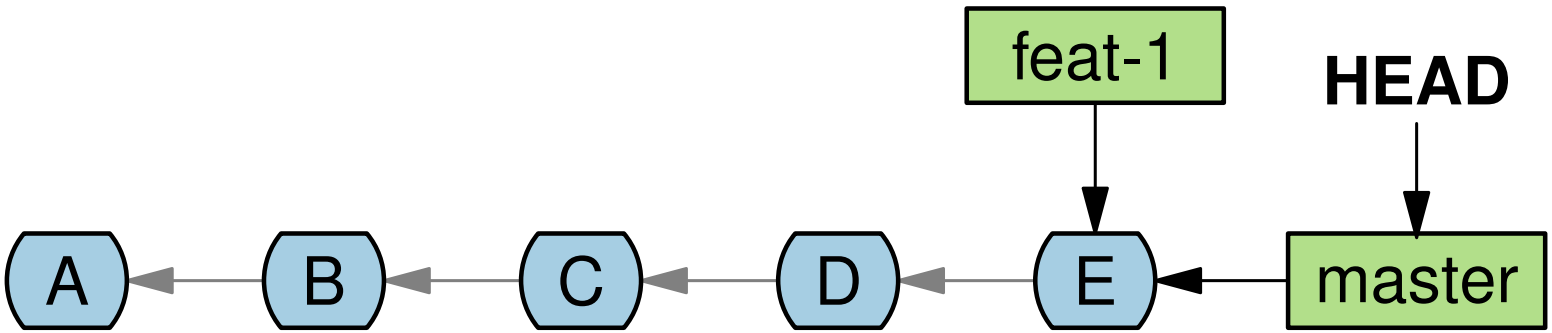
Créer une branche : exemple

```
$ git checkout master
```



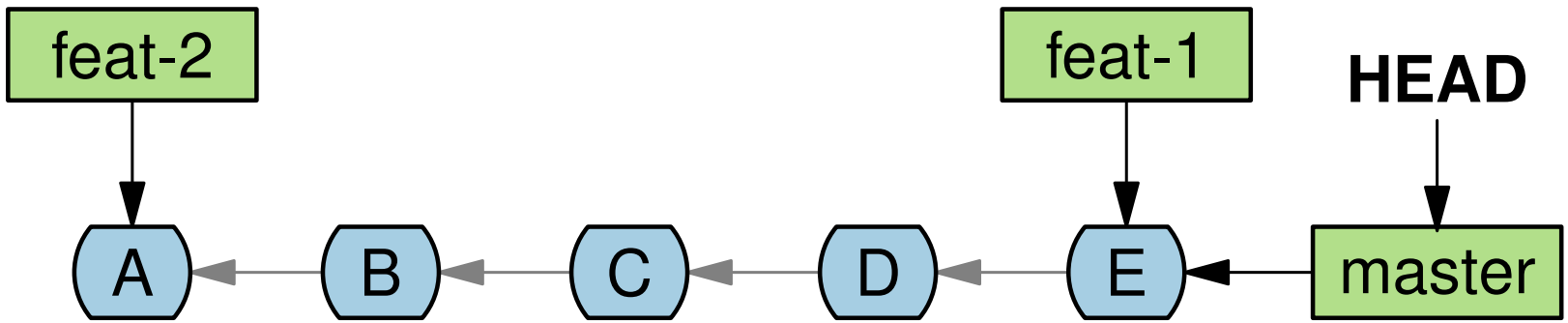
Créer une branche : exemple

```
$ git branch feat-1
```



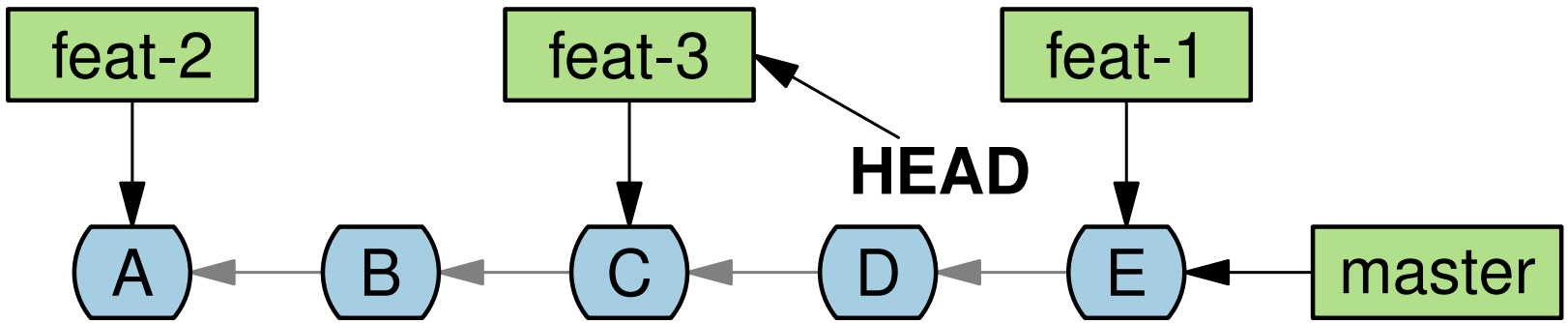
Créer une branche : exemple

```
$ git branch feat-2 A
```



Créer une branche : exemple

```
$ git checkout -B feat-3 C
```



Fusion de branches

- `git merge [-m <msg>] <stuff...>`

Fusionne `stuff` dans `HEAD`. `stuff` peut être :

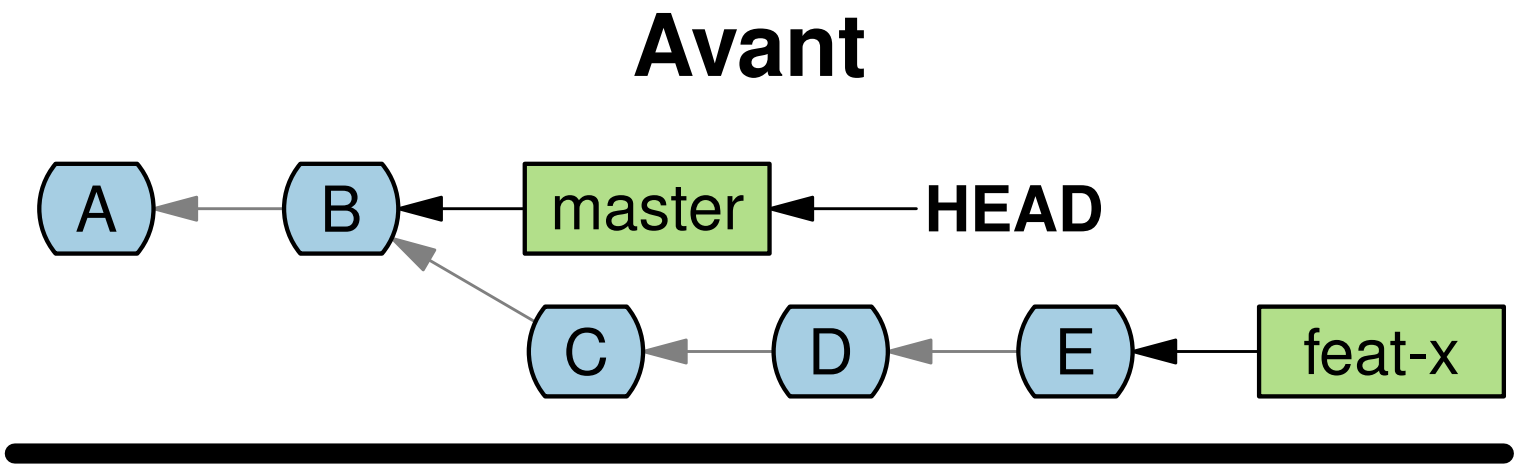
- Une branche
- Un commit

Peut créer un commit de fusion ou non selon les options :

- `--ff-only` en cas de fast-forward[4], met juste `HEAD` à jour (ne crée pas de commit). Sinon, ne fait rien
- `--no-ff` crée toujours un commit de fusion
- `--ff` (défaut) met juste `HEAD` à jour en cas de fast-forward. Sinon, crée un commit de fusion

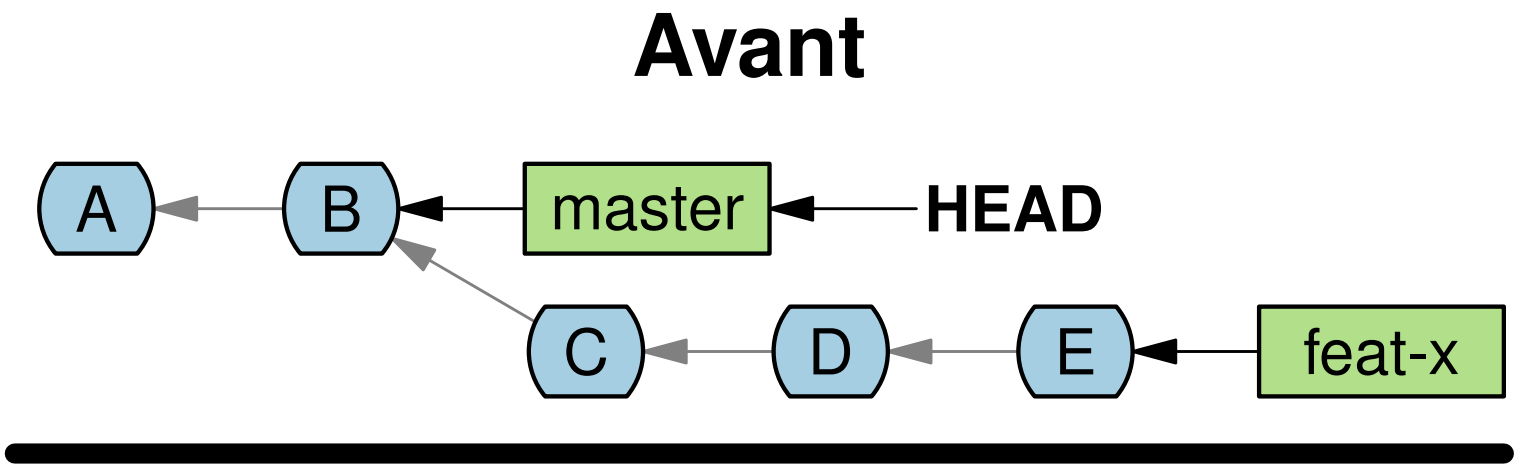
4. Arrive lorque les commits à intégrer sont directement au-dessus de `HEAD`.

Fusion de branches : exemple *fast forward*



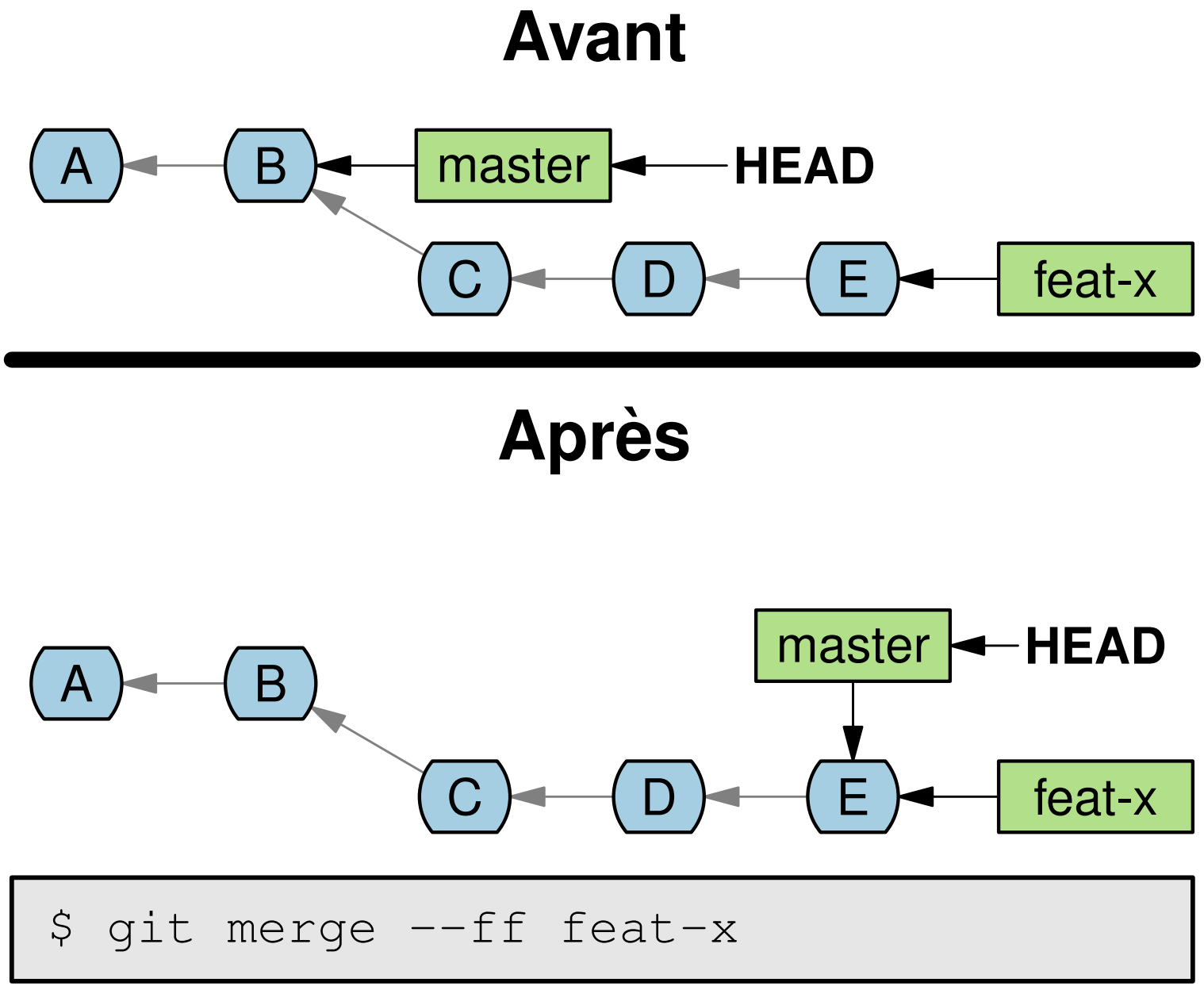

```
$ git checkout master
```

Fusion de branches : exemple *fast forward*



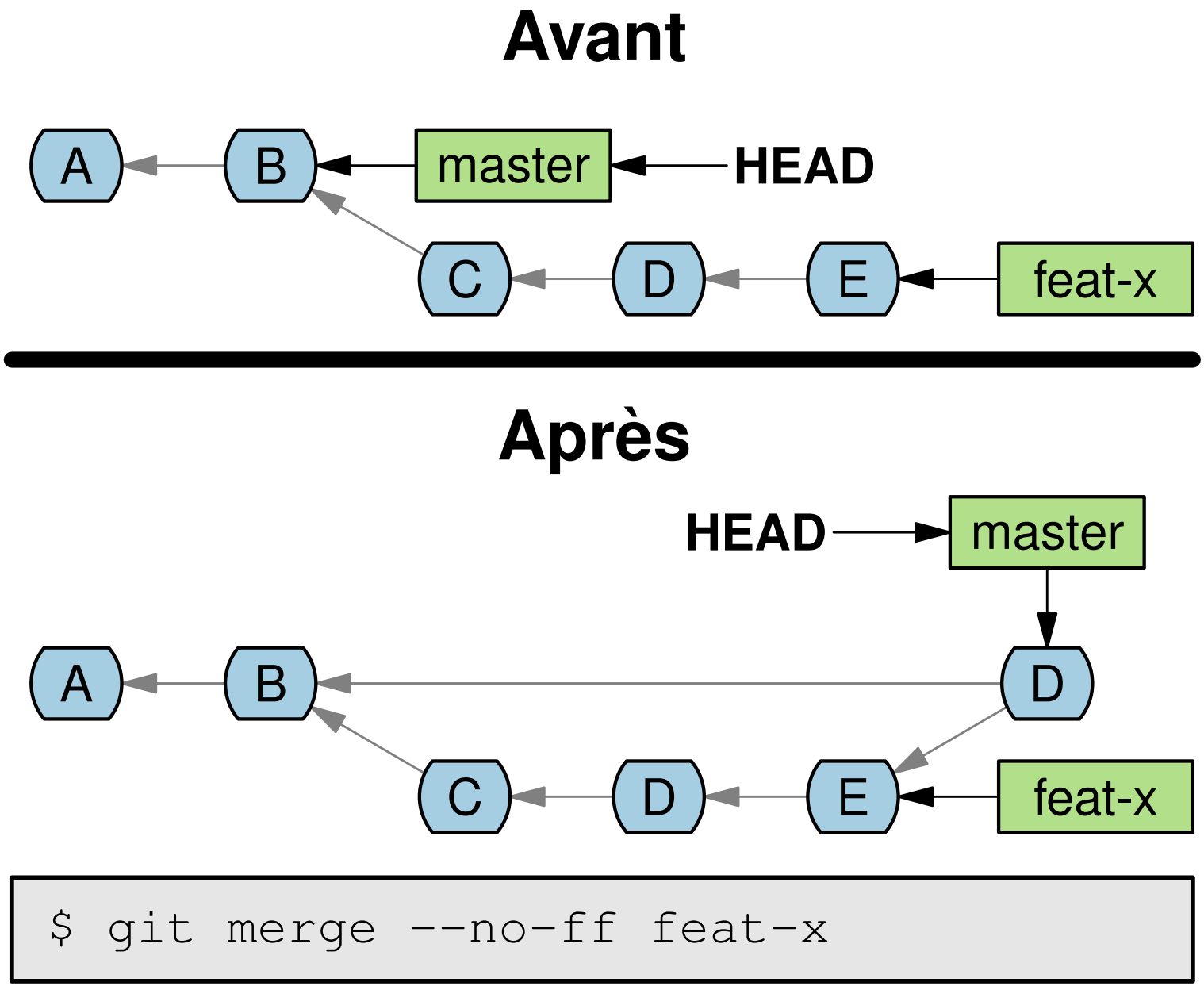

```
$ git merge --ff-only feat-x
```

Fusion de branches : exemple *fast forward*



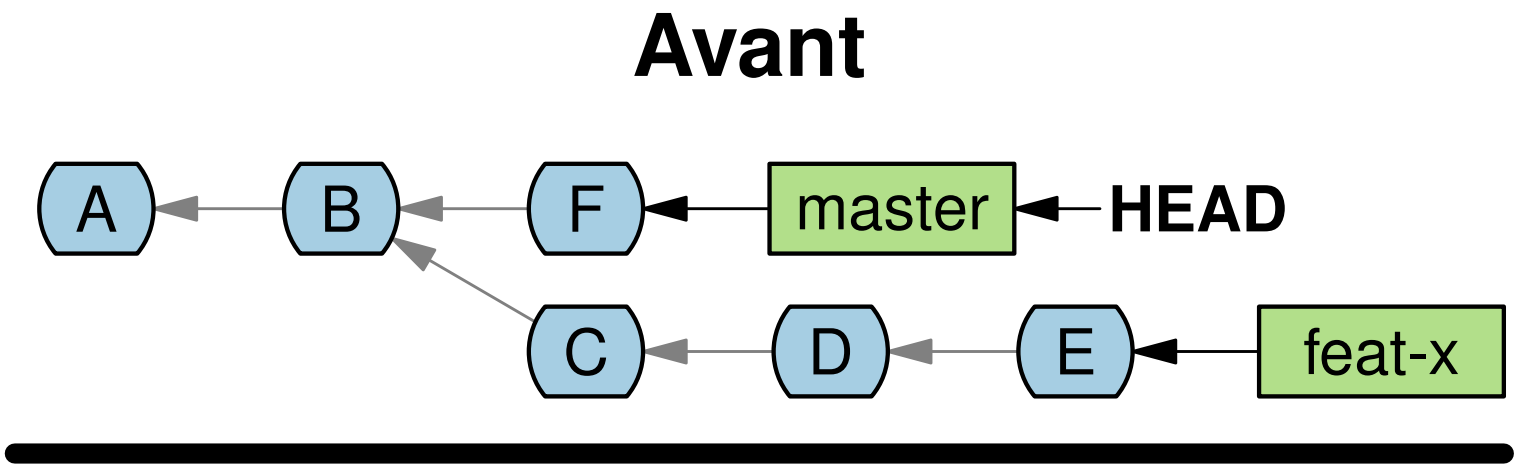

```
$ git merge --ff feat-x
```

Fusion de branches : exemple *fast forward*



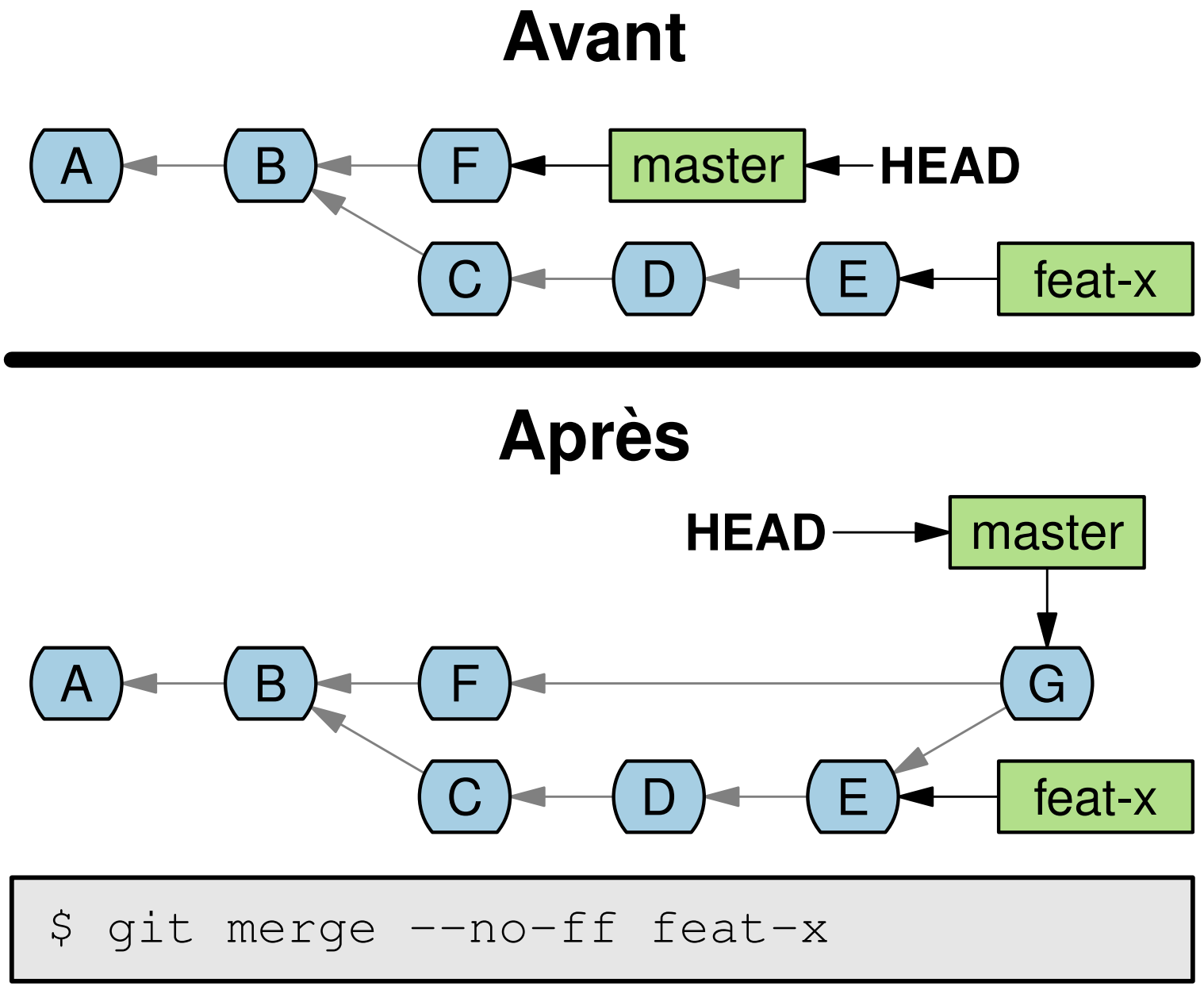

```
$ git merge --no-ff feat-x
```

Fusion de branches : exemple non *fast forward*




```
$ git checkout master
```

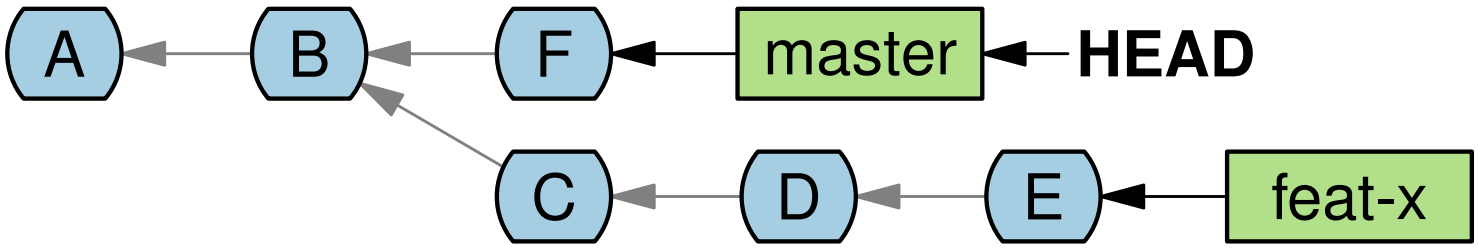
Fusion de branches : exemple non *fast forward*



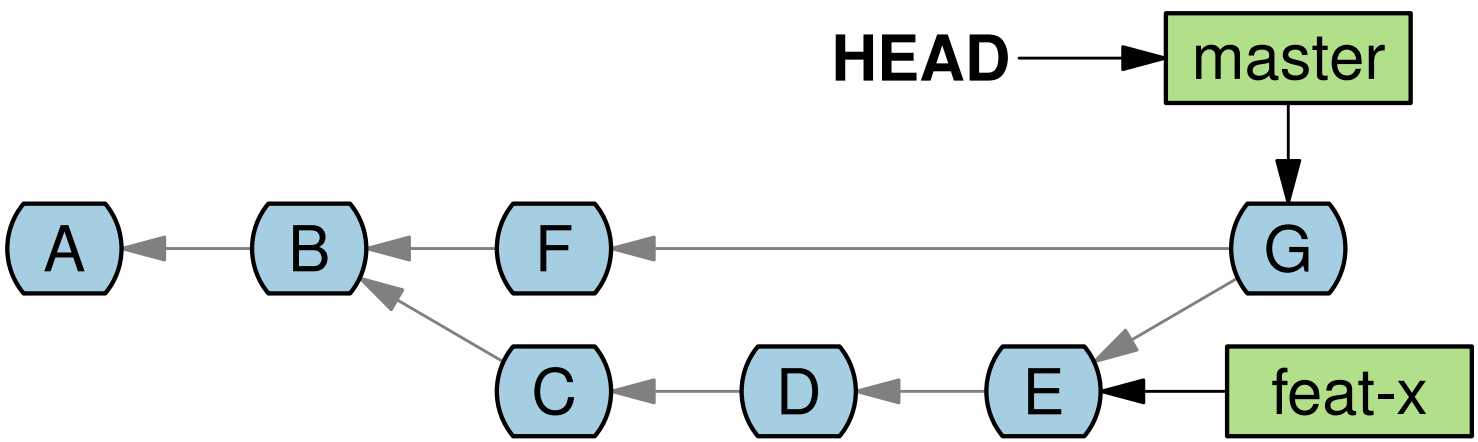

```
$ git merge --no-ff feat-x
```

Fusion de branches : exemple non *fast forward*

Avant



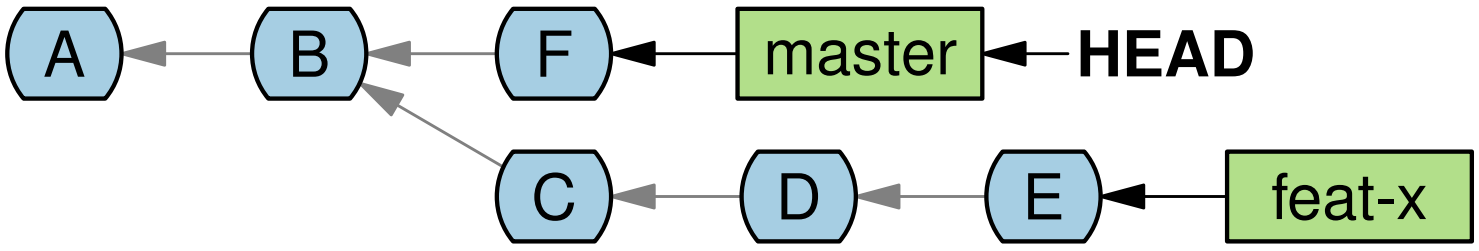
Après




```
$ git merge --ff feat-x
```

Fusion de branches : exemple non *fast forward*

Avant



Après

```
Not possible to fast-forward, aborting.
```

```
$ git merge --ff-only feat-x
```

Changer la base d'une branche

- `git rebase <newbase> [<branch>]`

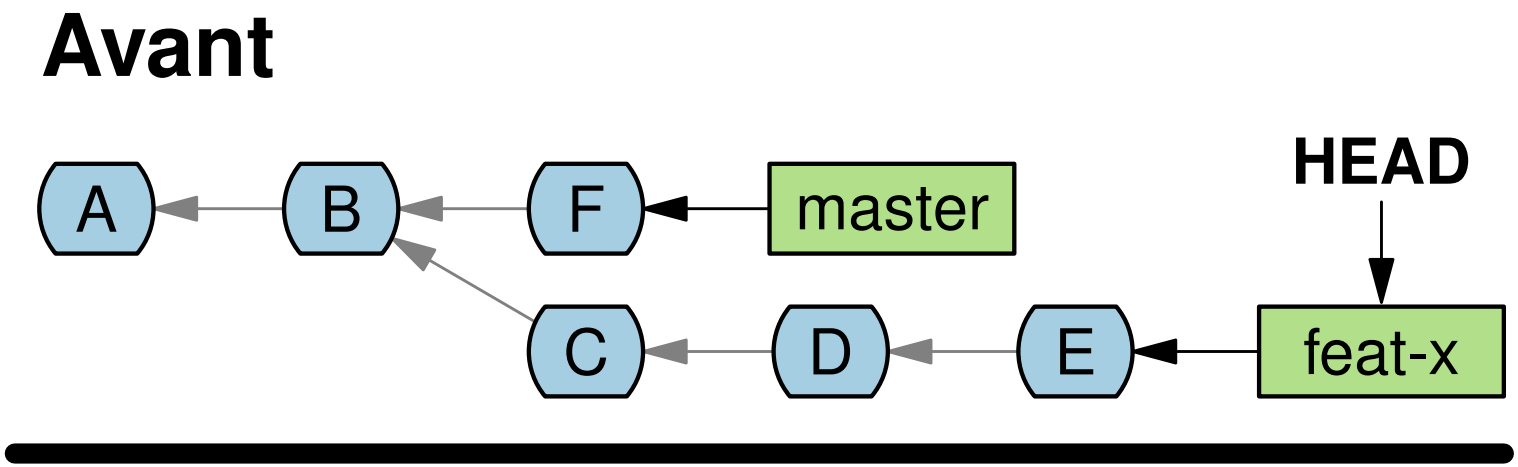
Change la base de `<branch>` (par défaut `HEAD`),
de telle sorte que `<newbase>` devienne sa nouvelle base.

- Ré-applique chaque commit par-dessus la nouvelle base
- Permet de réécrire l'historique
- Très utile pour revenir en *fast forward*

Options courantes :

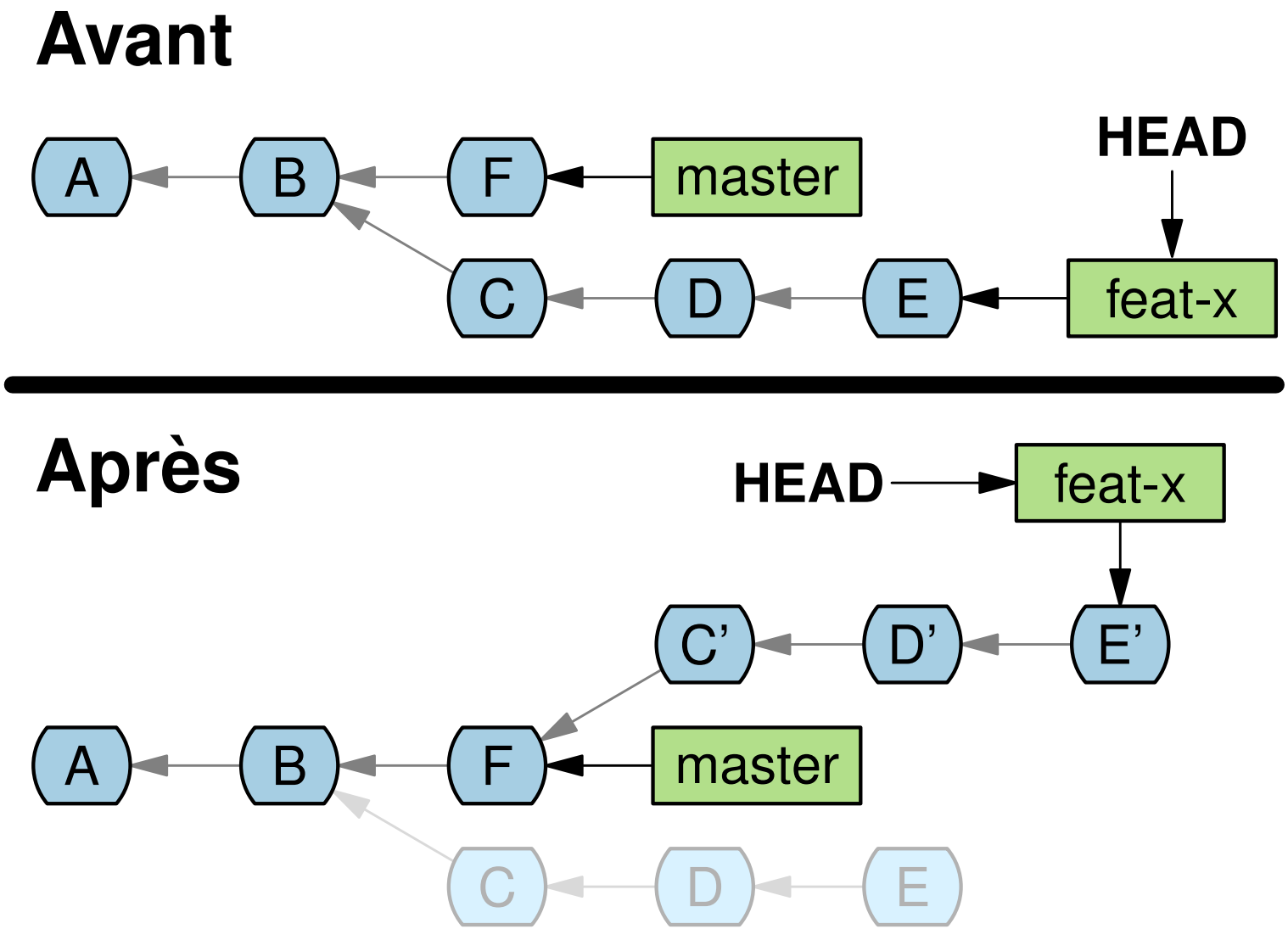
- `-i, --interactive` permet de choisir finement quoi faire de chaque commit

Changer la base d'une branche : exemple




```
$ git checkout feat-x
```

Changer la base d'une branche : exemple




```
$ git rebase master
```

5 Git (3)

- Synchronisation

Récupérer des objets depuis un dépôt distant

`git fetch [<repo>]`

- Met à jour vos branches/tags distants
- Ne change **rien** à vos branches locales
- → Intégration manuelle avec `merge` ou `rebase`

Exemples

- `git fetch`
- `git fetch origin`
- `git fetch --all`

Récupérer et intégrer depuis des objets distants

`git pull [<repo> [<ref>]]`

Raccourci pour :

- `fetch` + `merge` : `git pull [--ff-only|--no-ff|--ff]`
- `fetch` + `rebase` : `git pull --rebase`

Comportement par défaut configurable (`man git config`).

Exemples

- `git pull --ff-only origin master`
- `git pull --rebase`

Envoyer vos objets sur un dépôt distant

`git push [<repo> [<ref>...]]`

Met à jour les `<ref>` distantes (branche, tag...) à partir de vos versions locales. Options courantes :

- `--force` l'acceptation distante de la nouvelle version de `<ref>`. **Très dangereux sur branche publique !**

Exemples

- `git push origin master`
- `git push`

Semantic Versioning [7]

Système générique de numérotation de versions.

- Expose aux utilisateurs les cassures d'API
  $\rightarrow$ Réduit le *dependency hell* [5]
- Ensemble de règles strictes à suivre

Utilisé dans les dépôts de paquets des langages.

- Python : PyPI a un système proche – *cf.* PEP440 [6]
- D : Dub l'utilise
- Rust : Cargo l'utilise

5. https://en.wikipedia.org/wiki/Dependency_hell
6. https://www.python.org/dev/peps/pep-0440/
7. https://semver.org

Message de commit


```
Une ligne. Informatif. Concis (< 50 char)

Détails si besoin.
- Une ligne vide avant les détails !
# commentaire
```

merge ou rebase ?

`rebase`

- Réécrit l'historique
  → **jamais sur branche publique** [8]
  → Pratique en local pour réduire branchements inutiles
  → Pratique pour nettoyer une branche avant de l'intégrer

`merge`

- Conserve le *vrai* parent d'un commit
  → Peut aider à comprendre un commit plus tard

8. https://www.atlassian.com/git/tutorials/merging-vs-rebasing#the-golden-rule-of-rebasing

Workflow Git

Modélise comment collaborer via Git.

- Défini par projet
- Gitflow [9] est populaire

Bonnes idées pour une bonne qualité.

- Maintenir une branche qui *marche* toujours (tests automatisés)
- Maintenir une documentation à jour (changelog)

→ Sortir *souvent* une nouvelle version devient facile.

9. https://www.atlassian.com/git/tutorials/comparing-workflows/gitflow-workflow

Remerciements et références

Pour faire ces slides

- Arnaud Legrand — idées de slides de mooc-rr [10]
- Adoption des VCS dans l'open source [11]

Pour aller plus loin

- Documentation officielle de git [12]
- `man git`, `man git checkout`...

10. https://gitlab.inria.fr/learninglab/mooc-rr (module 1, slides)
11. https://mpoquet.github.io/blog/2020-08-vcs-adoption-in-floss/index.html
12. https://git-scm.com/doc