

Authentification avec les modules PAM

CONTENU

Cet article décrit le concept PAM, la structure de la configuration de PAM et l'utilisation de ses outils de configuration.

MOTIF

Vous voulez savoir comment configurer un module PAM et configurer votre système pour utiliser les clés U2F.

EFFORT

La lecture de l'article prend environ 20 minutes.

CONDITIONS REQUISES

Pour configurer l'authentification à l'aide des clés U2F, vous devez

- disposer de clés YubiKeys ou de sécurité.

Date de publication : 11 déc 2025

Table des matières

- 1 Présentation de PAM 3
- 2 Structure de la configuration PAM 3
- 3 Configuration des modules PAM 9
- 4 Configuration de PAM à l'aide de **pam-config** 10
- 5 Configuration manuelle de PAM 11

- 6 Configuration de SLE Micro pour exiger des clés U2F pour la connexion locale **12**
 - 7 Mentions légales **14**
- A Licence de Documentation Libre GNU **14**

1 Présentation de PAM

Il n'est pas rare que les administrateurs système et les programmeurs veuillent restreindre l'accès à certaines parties du système ou limiter l'utilisation de certaines fonctions d'une application. En l'absence de module PAM, les applications doivent se réadapter chaque fois qu'un nouveau mécanisme d'authentification (par exemple, LDAP, Samba or Kerberos) est disponible sur le marché. Cependant, ce processus est long et propice aux erreurs. Aussi, pour éviter ces inconvénients, l'une des solutions est de séparer les applications du mécanisme d'authentification et de déléguer cette authentification à des modules gérés de manière centrale. Chaque fois qu'un nouveau schéma d'authentification est nécessaire, il suffit d'adapter ou de rédiger un *module PAM* approprié à utiliser par le programme en question.

Le concept PAM comprend :

- Des *modules PAM* qui sont un ensemble de bibliothèques partagées par un mécanisme d'authentification spécifique.
- Une *pile de modules* avec un ou plusieurs modules PAM.
- Un *service* compatible avec PAM qui nécessite une authentification à l'aide d'une pile de modules ou de modules PAM. Un service utilise généralement un nom explicite de l'application correspondante, comme `login` ou `su`. Le nom du service `other` est un mot réservé aux règles par défaut.
- Des *arguments de module* avec lesquels l'exécution d'un module PAM unique peut être influencée.
- Un mécanisme évaluant chaque *résultat* d'une seule exécution de module PAM. Une valeur positive exécute le module PAM suivant. La façon dont une valeur négative est traitée dépend de la configuration : « aucune influence, continuer » à « arrêter immédiatement » et toute les étapes intermédiaires entre les deux sont des options valides.

2 Structure de la configuration PAM

PAM sous SLE Micro est fourni avec une configuration basée sur un répertoire. L'ensemble des fichiers de configuration sont stockés à l'emplacement `/etc/pam.d`. Chaque service (ou programme) qui repose sur le mécanisme PAM possède son propre fichier de configuration dans ce répertoire. Par exemple, le service pour `sshd` est disponible dans le fichier `/etc/pam.d/sshd`.



Remarque : configuration basée sur les fichiers (`/etc/pam.conf`) non utilisée sous SLE Micro

La configuration de chaque service peut également être stockée à l'emplacement `/etc/pam.conf`. Toutefois, pour des raisons de maintenance et de convivialité, ce schéma de configuration n'est pas utilisé dans SLE Micro.

Les fichiers à l'emplacement `/etc/pam.d/` définissent les modules PAM utilisés pour l'authentification. Chaque fichier est constitué de lignes, qui définissent un service et chaque ligne est constitué d'un maximum de quatre composants :

```
TYPE
CONTROL
MODULE_PATH
MODULE_ARGS
```

Les composants ont la signification suivante :

TYPE

Déclare le type de service. Les modules PAM sont traités comme des piles. Les différents types de modules ont des objectifs variés. Par exemple, un module vérifie le mot de passe, un autre vérifie l'emplacement à partir duquel a eu lieu l'accès au système et un autre lit les paramètres spécifiques à l'utilisateur. Les types de modules PAM sont au nombre de quatre :

auth

Vérifiez l'authenticité de l'utilisateur, généralement en demandant un mot de passe. Cependant, l'authentification peut également être effectuée avec une carte à puce ou à l'aide de la biométrie (par exemple, empreintes digitales ou scan de l'iris).

account

Les modules de ce type contrôlent si l'utilisateur dispose d'une autorisation générale pour utiliser le service demandé. Il peuvent, par exemple, vérifier que personne ne se connecte avec le nom d'utilisateur d'un compte ayant expiré.

password

Ce type de module a pour but d'autoriser la modification d'un jeton d'authentification. Il s'agit généralement d'un mot de passe.

session

Les modules de ce type sont responsables de la gestion et de la configuration des sessions utilisateur. Ils sont lancés avant et après l'authentification pour consigner les tentatives de connexion et configurer l'environnement spécifique de l'utilisateur.

CONTROL

Indique le comportement d'un module PAM. Chaque module peut avoir les indicateurs de contrôle suivants :

required

L'exécution d'un module portant cet indicateur doit avoir réussi pour que l'authentification puisse se poursuivre. En cas d'échec d'un module doté de l'indicateur required, tous les autres modules ayant le même indicateur sont traités avant que l'utilisateur reçoive un message l'informant de l'échec de la tentative d'authentification.

requisite

Le traitement des modules ayant cet indicateur doit également avoir réussi, plus ou moins comme pour un module doté de l'indicateur required. Par contre, en cas d'échec, l'utilisateur en est immédiatement averti et aucun autre module n'est traité. En cas de réussite, les autres modules sont ensuite traités, comme tout autre module doté de l'indicateur required. L'indicateur requisite peut être utilisé comme filtre de base pour vérifier certaines conditions fondamentales pour une authentification correcte.

sufficient

Après la réussite du traitement d'un module portant cet indicateur, l'application à l'origine de la demande reçoit immédiatement un message lui confirmant cette réussite et aucun autre module n'est traité, à condition qu'il n'y a pas eu d'échec précédemment d'un module ayant l'indicateur required. L'échec d'un module doté de l'indicateur sufficient n'a pas de conséquence directe, dans le sens où les modules ultérieurs sont traités dans leur ordre respectif.

optional

L'échec ou la réussite d'un module portant cet indicateur n'a pas de conséquence directe. Cela peut s'avérer pratique pour les modules dont la seule fonctionnalité est d'afficher un message (par exemple, pour avertir l'utilisateur de l'arrivée d'un message), sans exécuter d'autre action.

include

Lorsque cet indicateur est attribué, le fichier indiqué en argument est inséré à cet endroit.

MODULE_PATH

Contient le nom de fichier complet d'un module PAM. Il ne doit pas nécessairement être spécifié de manière explicite. Si le module se trouve dans le répertoire par défaut /lib/security (pour toutes les plates-formes 64 bits prises en charge par SLE Micro, le répertoire est /lib64/security).

MODULE_ARGS

Contient une liste d'options séparées par des espaces pour influencer le comportement d'un module PAM, telles que debug (active le débogage) ou nullok (autorise l'utilisation de mots de passe vides).

En outre, des fichiers de configuration globale existent pour les modules PAM sous /etc/security. Ces fichiers définissent le comportement exact de ces modules (par exemple, pam_env.conf et time.conf). Chaque application qui utilise un module PAM invoque un ensemble de fonctions PAM. Ces fonctions traitent ensuite les informations des différents fichiers de configuration et renvoient les résultats à l'application qui a initié la demande.

Pour simplifier la création et la maintenance des modules PAM, des fichiers de configuration par défaut communs pour les types auth, account, password et les modules session ont été introduits. Ceux-ci sont récupérés à partir de la configuration PAM de chaque application. Les mises à jour des modules de configuration globale PAM dans common-* sont donc propagées dans tous les fichiers de configuration PAM sans que l'administrateur ne doive mettre à jour chaque fichier de configuration PAM.

Les fichiers de configuration globale PAM sont gérés à l'aide de l'outil **pam-config**. Cet outil ajoute automatiquement de nouveaux modules à la configuration, modifie la configuration des modules existants ou supprime des modules (ou des options) des configurations. L'intervention manuelle dans la gestion des configurations PAM est réduite au minimum ou n'est plus nécessaire.

2.1 Exemple de configuration PAM

Pour illustrer un exemple de cas d'utilisation réel de la configuration PAM, la configuration de sshd a été utilisée dans cette section :

EXEMPLE 1 : CONFIGURATION PAM DE SSHD (/etc/pam.d/sshd)

```
 #%PAM-1.0 ①
auth    requisite    pam_nologin.so          ②
auth    include      common-auth             ③
account requisite  pam_nologin.so          ②
account include    common-account          ③
password include   common-password         ③
session  required   pam_loginuid.so        ④
session  include    common-session          ③
session  optional   pam_lastlog.so  silent nouupdate showfailed ⑤
```

- ① Déclare la version de ce fichier de configuration pour PAM 1.0. Il s'agit simplement d'une convention, mais elle pourrait être utilisée à l'avenir pour vérifier la version.
- ② Vérifie si le paramètre `/etc/nologin` existe. S'il existe, seul l'utilisateur `root` est autorisé à se connecter.
- ③ Fait référence aux fichiers de configuration de quatre types de modules : `common-auth`, `common-account`, `common-password` et `common-session`. Ces quatre fichiers détiennent la configuration par défaut de chaque type de module.
- ④ Définit l'attribut de processus UID de connexion pour le processus qui a été authentifié.
- ⑤ Affiche des informations concernant la dernière connexion d'un utilisateur.

En incluant les fichiers de configuration au lieu d'ajouter chaque module séparément à sa configuration PAM respective, vous obtenez automatiquement une configuration PAM mise à jour lorsqu'un administrateur modifie les valeurs par défaut.

Le premier fichier inclus (`common-auth`) invoque des modules du type `auth` : `pam_env.so`, `pam_gnome_keyring.so` et `pam_unix.so`. Reportez-vous à l'[Exemple 2, « Configuration par défaut pour la section auth \(common-auth\) »](#). N'oubliez pas que les modules peuvent différer en fonction de votre installation.

EXEMPLE 2 : CONFIGURATION PAR DÉFAUT POUR LA SECTION auth (common-auth)

```
auth  required  pam_env.so          ①
auth  optional  pam_gnome_keyring.so ②
auth  required  pam_unix.so  try_first_pass ③
```

- ① `pam_env.so` charge `/etc/security/pam_env.conf` pour définir les variables d'environnement comme spécifié dans ce fichier. Cela peut être utilisé pour définir la valeur appropriée pour la variable `DISPLAY`. Le module `pam_env` connaît en effet l'emplacement à partir duquel la connexion est exécutée.
- ② `pam_gnome_keyring.so` vérifie le nom de connexion et le mot de passe de l'utilisateur par rapport aux informations disponibles dans le trousseau de clés GNOME
- ③ `pam_unix` vérifie le nom de connexion et le mot de passe de l'utilisateur par rapport aux informations disponibles dans `/etc/passwd` et `/etc/shadow`.

La pile tout entière des modules `auth` est traitée avant que `sshd` ne soit informé de la réussite ou non de la connexion. Le traitement de tous les modules de la pile ayant l'indicateur de contrôle `required` doit avoir réussi avant que `sshd` reçoive un message concernant le résultat positif. En cas d'échec de l'un des modules, le reste de la pile continue à être traité et ce n'est qu'à ce moment-là que `sshd` est averti de ce résultat négatif.

Dès que le traitement de tous les modules de type `auth` a réussi, une autre instruction d'inclusion est traitée (dans le cas présent, il s'agit de l'*Exemple 3, « Configuration par défaut pour la section account (common-account) »*). `common-account` ne contient qu'un seul module, `pam_unix`. Si `pam_unix` renvoie un résultat indiquant que l'utilisateur existe, `sshd` reçoit un message de réussite et la pile suivante de modules (`password`) est traitée.

EXEMPLE 3 : **CONFIGURATION PAR DÉFAUT POUR LA SECTION account (common-account)**

```
account required pam_unix.so try_first_pass
```

Une fois encore, la configuration PAM de `sshd` implique seulement une instruction d'inclusion faisant référence à la configuration par défaut des modules `password` dans `common-password`. L'exécution de ces modules doit avoir réussi (indicateurs de contrôle `requisite` et `required`) chaque fois que l'application demande de modifier un jeton d'authentification.

Le changement d'un mot de passe ou d'un autre jeton d'authentification requiert un contrôle de sécurité. Ce contrôle est réalisé avec le module `pam_cracklib`. Le module `pam_unix` utilisé par la suite transfère les anciens et les nouveaux mots de passe à partir de `pam_cracklib`, de sorte que l'utilisateur n'a pas besoin de se réauthentifier après avoir modifié le mot de passe. Grâce à cette procédure, il est impossible d'éviter les contrôles effectués par `pam_cracklib`. Chaque fois que le type `account` ou `auth` est configuré pour signaler que des mots de passe ont expiré, les modules `password` doivent également être utilisés.

Comme étape finale, les modules de type `session` (compilés dans le fichier `common-session`), sont appelés pour configurer la session selon les paramètres de l'utilisateur en question. Le module `pam_limits` charge le fichier `/etc/security/limits.conf`, ce qui peut définir des

limites d'utilisation pour certaines ressources système. Le module `pam_unix` est à nouveau traité. Le module `pam_umask` peut être utilisé pour définir le masque de création du mode fichier. Étant donné que ce module porte l'indicateur `optional`, un échec de ce module n'affectera pas la réussite de l'ensemble de la pile de modules de session. Les modules `session` sont appelés une deuxième fois lorsque l'utilisateur se déconnecte.

3 Configuration des modules PAM

Certains modules PAM peuvent être configurés. Les fichiers de configuration se trouvent à l'emplacement `/etc/security`. Cette section décrit brièvement les fichiers de configuration relatifs à l'exemple `sshd` : `pam_env.conf` et `limits.conf`.

3.1 `pam_env.conf`

`pam_env.conf` peut servir à définir un environnement standardisé pour les utilisateurs qui est paramétré chaque fois que le module `pam_env` est invoqué. Grâce à lui, prédefinissez les variables d'environnement à l'aide de la syntaxe suivante :

```
VARIABLE [DEFAULT=VALUE] [OVERRIDE=VALUE]
```

VARIABLE

Nom de la variable d'environnement à définir.

[DEFAULT=<value>]

Valeur `VALUE` par défaut que l'administrateur souhaite définir.

[OVERRIDE=<value>]

Valeurs pouvant faire l'objet d'une requête et qui sont définies par `pam_env`, ce qui écrase la valeur par défaut.

Un exemple d'utilisation classique de `pam_env` est l'adaptation de la variable `DISPLAY` qui est modifiée chaque fois qu'une connexion est exécutée à distance. Il est présenté dans l'[Exemple 4](#), « `pam_env.conf` ».

EXEMPLE 4 : `PAM_ENV.CONF`

```
REMOTEHOST DEFAULT=localhost OVERRIDE=@{PAM_RHOST}
DISPLAY     DEFAULT=${REMOTEHOST}:0.0 OVERRIDE=${DISPLAY}
```

La première ligne définit la valeur de la variable `REMOTEHOST` sur `localhost`. Cette valeur est utilisée chaque fois que `pam_env` ne parvient pas à déterminer d'autre valeur. La variable `DISPLAY` contient alors la valeur `REMOTEHOST`. Pour plus d'informations, reportez-vous aux commentaires à l'emplacement `/etc/security/pam_env.conf`.

3.2 `limits.conf`

Vous pouvez définir des limites système pour un utilisateur ou un groupe dans le fichier `limits.conf` qui est lu par le module `pam_limits`. Ce fichier permet de définir soit des limites strictes (qui ne doivent absolument pas être dépassées), soit des limites souples (qui peuvent être dépassées temporairement). Pour plus d'informations sur la syntaxe et les options, reportez-vous aux commentaires à l'emplacement `/etc/security/limits.conf`.

4 Configuration de PAM à l'aide de `pam-config`

L'outil `pam-config` vous aide à configurer les fichiers de configuration PAM globaux (`/etc/pam.d/common-*`) et plusieurs configurations d'application sélectionnées. Pour obtenir une liste des modules pris en charge, utilisez la commande `pam-config --list-modules`. La commande `pam-config` permet de gérer vos fichiers de configuration PAM. Ajoutez de nouveaux modules à vos configurations PAM, supprimez d'autres modules ou modifiez les options de ces modules. Lors de la modification des fichiers de configuration PAM globaux, aucune adaptation manuelle de la configuration PAM pour des applications individuelles n'est requise.

Un cas d'utilisation simple de `pam-config` implique les tâches suivantes :

1. Générer automatiquement une nouvelle configuration PAM de type Unix. Laissez la commande `pam-config` créer la configuration la plus simple possible que vous pourrez étendre ultérieurement. La commande `pam-config --create` crée une configuration d'authentification Unix simple. Les fichiers de configuration préexistants non conservés par `pam-config` sont écrasés, mais des copies de sauvegarde sont conservées en tant que `*.pam-config-backup`.
2. Ajouter une nouvelle méthode d'authentification. L'ajout d'une nouvelle méthode d'authentification (par exemple, LDAP) à votre pile de modules PAM se résume à une commande `pam-config --add --ldap` simple. LDAP est ajouté chaque fois que nécessaire dans tous les fichiers de configuration PAM `common-*-pc`.

3. Ajouter le débogage à des fins de test. Pour vous assurer que la nouvelle procédure d'authentification fonctionne comme prévu, activez le débogage pour toutes les opérations liées à PAM. La commande `pam-config --add --ldap-debug` active le débogage pour les opérations PAM liées à LDAP.
4. Interroger votre configuration. Avant d'appliquer définitivement votre nouvelle configuration PAM, vérifiez qu'elle contient toutes les options que vous souhaitez ajouter. La commande `pam-config --query --MODULE` liste le type et les options du module PAM interrogé.
5. Supprimer les options de débogage. Terminez en supprimant l'option de débogage de votre configuration lorsque vous êtes entièrement satisfait des performances de celle-ci. La commande `pam-config --delete --ldap-debug` désactive le débogage pour l'authentification LDAP. Si vous aviez ajouté des options de débogage pour d'autres modules, utilisez des commandes similaires pour les désactiver.

Pour plus d'informations sur la commande `pam-config` et les options disponibles, reportez-vous à la page de manuel de `pam-config(8)`.

5 Configuration manuelle de PAM

Si vous préférez créer ou gérer manuellement vos fichiers de configuration PAM, veillez à désactiver `pam-config` pour ces fichiers.

Lorsque vous créez vos fichiers de configuration PAM à partir de zéro à l'aide de la commande `pam-config --create`, des liens symboliques sont créés entre les fichiers `common-*` et `common-*-pc`. `pam-config` modifie uniquement les fichiers de configuration `common-* - pc`. La suppression de ces liens symboliques désactive effectivement `pam-config`, car `pam-config` ne fonctionne que sur les fichiers `common-* - pc` et ces fichiers ne sont pas appliqués sans les liens symboliques.



Avertissement : pensez à inclure `pam_systemd.so` dans la configuration

Si vous créez votre propre configuration PAM, veillez à inclure `pam_systemd.so` configuré avec l'option `session optional`. Ne pas inclure `pam_systemd.so` peut entraîner des problèmes en raison de limites de tâches `systemd`. Pour plus d'informations, reportez-vous à la page du manuel de `pam_systemd.so`.

6 Configuration de SLE Micro pour exiger des clés U2F pour la connexion locale

Pour renforcer la sécurité lors de la connexion locale à SLE Micro, vous pouvez configurer l'authentification à deux facteurs à l'aide de la structure `pam-u2f` et de la fonction U2F sur les clés YubiKeys et les clés de sécurité.

Pour configurer U2F sur votre système SLE Micro, vous devez associer votre clé à votre compte sur SLE Micro. Ensuite, configurez votre système pour utiliser la clé. La procédure est décrite dans les sections suivantes.

6.1 Association de la clé U2F à votre compte

Pour associer votre clé U2F à votre compte, procédez comme suit :

1. Connectez-vous à votre machine.
2. Insérez votre clé U2F.
3. Créez un répertoire pour la configuration de la clé U2F :

```
> sudo mkdir -p ~/.config/Yubico
```

4. Exécutez la commande `pamu2fcfg` qui génère des lignes de configuration :

```
> sudo pamu2fcfg > ~/.config/Yubico/u2f_keys
```

5. Lorsque votre périphérique commence à clignoter, appuyez sur le contact en métal pour confirmer l'association.

Nous vous recommandons d'utiliser un périphérique de sauvegarde U2F, que vous pouvez configurer en exécutant les commandes suivantes :

1. Exécutez :

```
> sudo pamu2fcfg -n >> ~/.config/Yubico/u2f_keys
```

2. Lorsque votre périphérique commence à clignoter, appuyez sur le contact en métal pour confirmer l'association.

Vous pouvez déplacer le fichier de sortie de l'emplacement par défaut vers un répertoire qui nécessite l'autorisation `sudo` pour modifier le fichier afin d'améliorer la sécurité. Par exemple, déplacez-le dans le répertoire `/etc`. Pour ce faire, procédez comme suit :

1. Créez un répertoire dans `/etc` :

```
> sudo mkdir /etc/Yubico
```

2. Déplacez le fichier créé :

```
> sudo mv ~/.config/Yubico/u2f_keys /etc/Yubico/u2f_keys
```



Remarque : placement des clés `u2f_keys` à un emplacement autre que celui par défaut

Si vous déplacez le fichier de sortie vers un autre répertoire que celui par défaut (`$HOME/.config/Yubico/u2f_keys`), vous devez ajouter le chemin d'accès au fichier `/etc/pam.d/login` comme décrit à la [Section 6.2, « Mise à jour de la configuration PAM »](#).

6.2 Mise à jour de la configuration PAM

Après avoir créé la configuration des clés U2F, vous devez ajuster la configuration PAM sur votre système.

1. Ouvrez le fichier `/etc/pam.d/login`.

2. Ajoutez la ligne `auth required pam_u2f.so` au fichier comme suit :

```
##PAM-1.0
auth      include    common-auth
auth      required  pam_u2f.so
account   include    common-account
password  include    common-password
session   optional   pam_keyinit.so revoke
session   include    common-session
#session  optional   pam_xauth.so
```

3. Si vous avez placé le fichier `u2f_keys` à un autre emplacement que `$HOME/.config/Yubico/u2f_keys`, vous devez utiliser l'option `authfile` dans le fichier PAM `/etc/pam.d/login` comme suit :

```
#%PAM-1.0
auth    requisite pam_nologin.so
auth    include common-auth
auth  required pam_u2f.so authfile=<PATH_TO_u2f_keys>
...
```

où `<PATH_TO_u2f_keys>` est le chemin absolu du fichier `u2f_keys`.

7 Mentions légales

Copyright © 2006–2025 SUSE LLC et contributeurs. Tous droits réservés.

Il est autorisé de copier, distribuer et/ou modifier ce document conformément aux conditions de la licence de documentation libre GNU version 1.2 ou (à votre discrédition) 1.3, avec la section permanente qu'est cette mention de copyright et la licence. Une copie de la version de licence 1.2 est incluse dans la section intitulée « Licence de documentation libre GNU ».

Pour les marques commerciales SUSE, consultez le site Web <https://www.suse.com/company/legal/>. Toutes les autres marques de fabricants tiers sont la propriété de leur détenteur respectif. Les symboles de marque (®, ™, etc.) désignent des marques commerciales de SUSE et de ses sociétés affiliées. Des astérisques (*) désignent des marques commerciales de fabricants tiers.

Toutes les informations de cet ouvrage ont été regroupées avec le plus grand soin. Cela ne garantit cependant pas sa complète exactitude. Ni SUSE LLC, ni les sociétés affiliées, ni les auteurs, ni les traducteurs ne peuvent être tenus responsables des erreurs possibles ou des conséquences qu'elles peuvent entraîner.

A Licence de Documentation Libre GNU

Copyright (C) 2000, 2001, 2002 Free Software Foundation, Inc. 51 Franklin St, Fifth Floor, Boston, MA 02110-1301 USA. Toute personne est autorisée à copier et distribuer des copies exactes de cette Licence, mais n'a pas le droit de les modifier.

0. PRÉAMBULE

La présente Licence entend rendre un manuel, un guide ou tout autre document utile et fonctionnel « libre » de tout droit afin de garantir que toute personne soit effectivement libre de le copier et de le redistribuer, avec ou sans modification, à des fins commerciales ou non. En second lieu, cette Licence conserve à l'auteur et à l'éditeur un moyen de bénéficier du crédit de son travail, sans être considéré comme responsable des modifications réalisées par des tiers.

La présente Licence est une sorte de « copyleft », ce qui signifie que les travaux dérivés du document doivent eux aussi offrir les mêmes libertés que l'original. Elle complète la Licence publique générale GNU, qui est une licence copyleft conçue pour les logiciels libres.

Nous avons conçu cette Licence afin qu'elle soit utilisée pour les manuels de logiciels libres. En effet, qui dit logiciel libre dit documentation libre : un programme proposé librement doit être accompagné de manuels offrant les mêmes libertés que le logiciel original. Mais cette Licence ne se limite pas aux manuels des logiciels ; elle peut s'utiliser pour tout travail sous forme de texte, quel qu'en soit le sujet et qu'il soit ou non publié sous forme d'ouvrage imprimé. Nous recommandons cette Licence principalement pour les travaux dont l'objectif est la formation ou devant servir de référence.

1. DOMAINE D'APPLICATION ET DÉFINITIONS

Cette licence s'applique à tout manuel ou à tout autre travail, sur tout support, contenant une notification placée par le propriétaire du copyright indiquant qu'il peut être distribué conformément aux termes de cette Licence. Cette notification accorde une licence internationale, libre de droits et de durée illimitée, d'utilisation de ce travail conformément aux conditions indiquées par les présentes. Le « Document » fait référence à ce manuel ou à ce travail. Tout membre du public est un détenteur de licence, et est désigné par l'appellation « Vous ». Vous acceptez la licence si vous copiez, modifiez ou distribuez le travail d'une manière nécessitant une autorisation selon les lois relatives au droit d'auteur.

Une « Version Modifiée » du Document désigne un travail contenant le Document ou une partie du Document, soit mot pour mot, soit avec des modifications et/ou traduit dans une autre langue.

Une « Section Secondaire » est une annexe nommée ou une section liminaire du Document qui traite exclusivement de la relation des éditeurs ou des auteurs du Document au sujet global du Document (ou à des sujets associés) et ne contient rien qui pourrait relever directement de ce sujet global. (Ainsi, si le Document est une partie d'un manuel de mathématiques, une Section

Secondaire ne peut rien expliquer des mathématiques.) La relation peut être une question de relation historique avec le sujet ou avec des questions associées, ou de nature légale, commerciale, philosophique, éthique ou politique les concernant.

Les « Sections Invariantes » sont des Sections secondaires dont les titres sont désignés, comme étant ceux de Sections Invariantes, dans la notification indiquant que le Document est publié dans le cadre de la présente Licence. Si une section ne correspond pas à la définition ci-dessus de Secondaire, elle ne peut pas être désignée en tant qu'Invariante. Le Document peut ne contenir aucune Section Invariante. Si le Document n'identifie aucune Section Invariante, il n'y en a aucune.

Les « Textes de Couverture » sont certains courts passages de Texte de la Première de Couverture ou Texte de la Dernière de Couverture, dans la notification indiquant que le Document est publié dans le cadre de la présente Licence. Le Texte de la Première de Couverture doit comporter au plus 5 mots et le Texte de la Dernière de Couverture doit en comporter au plus 25.

Une copie Transparente du Document signifie une copie lisible par la machine, représentée dans un format dont la spécification est à la disposition du public, adaptée à la révision directe du document avec des éditeurs de texte génériques ou (pour les images composées de pixels) des programmes de peinture génériques ou (pour les dessins) certains éditeurs de dessin largement diffusés, et adaptée à la saisie dans des formateurs de texte ou pour la traduction automatique dans un ensemble de formats adaptés à la saisie dans des formateurs de texte. Une copie réalisée dans un autre format de fichier Transparent dont le balisage, ou l'absence de balisage, a été organisé pour déjouer ou décourager la modification ultérieure n'est pas Transparent. Un format d'image n'est pas Transparent s'il est utilisé pour une quantité importante de texte. Une copie qui n'est pas Transparente est dite Opaque.

Les exemples de formats adaptés aux copies Transparentes incluent l'ASCII standard sans balisage, le format de saisie Texinfo, le format de saisie LaTeX, le format SGML ou XML utilisant un DTD publiquement disponible, et le format HTML simple conforme à la norme, le format PostScript ou PDF conçu pour la modification par l'homme. Les exemples de formats d'image transparents incluent PNG, XCF et JPG. Les formats Opaques incluent les formats propriétaires qui ne peuvent être lus et modifiés que par des traitements de textes propriétaires, le format SGML ou XML pour lequel les outils de DTD et/ou de traitement ne sont généralement pas disponibles, et le HTML généré en machine, le format PostScript ou PDF produit par certains traitements de texte à des fins de sortie seulement.

La « Page de titre » signifie, pour un ouvrage imprimé, la page de titre proprement dite ainsi que les pages suivantes nécessaires pour contenir, lisiblement, les informations que la présente Licence exige de faire apparaître dans la page de titre. Pour les travaux dont les formats ne comportent pas de page de titre en tant que telle, « Page de titre » signifie le texte situé à proximité du titre du travail, avant le début du corps du texte.

Une section « Intitulée XYZ » signifie une sous-unité nommée du Document dont le titre est soit précisément XYZ, soit contient XYZ entre parenthèses à la suite du texte qui traduit XYZ dans une autre langue. (À cet endroit XYZ représente un nom de section spécifique mentionné ci-dessous, tel que « Remerciements », « Dédicaces », « Recommandations » ou « Historique ».) Pour « Conserver le Titre » d'une telle section lorsque vous modifiez le Document, cela signifie qu'il reste une section « Intitulée XYZ » conformément à la présente définition.

Le Document peut comporter des Limitations de Garantie à côté de la notification indiquant que la Licence s'applique au Document. Ces Limitations de Garantie sont considérées comme étant incluses car il y est fait référence dans la présente Licence, mais uniquement au titre des limitations de garantie : toute autre implication que pourrait avoir ces Limitations de Garantie est nulle et n'a aucun effet sur la signification de cette Licence.

2. COPIE MOT POUR MOT

Vous pouvez copier et distribuer le Document sur n'importe quel support, commercialement ou non, pourvu que cette Licence, les mentions de copyright et la mention de licence indiquant que cette Licence s'applique au Document soient reproduites sur toutes les copies, et que vous n'ajoutiez aucune autre condition à celles de cette Licence. Vous ne pouvez pas utiliser de mesures techniques pour empêcher ou contrôler la lecture ou la copie ultérieure des copies que vous effectuez ou distribuez. Toutefois, vous pouvez accepter une compensation en échange des copies. Si vous distribuez un grand nombre de copies, vous devez respecter les conditions énoncées à la section 3.

Vous pouvez également prêter des copies, sous les mêmes conditions que celles indiquées ci-dessus, et afficher des copies publiquement.

3. COPIE EN QUANTITÉ

Si vous publiez des copies imprimées (ou des copies sur un support ayant des couvertures imprimées) du Document, à plus de 100 tirages, et que la mention de licence du Document exige des Textes de Couverture, vous devez inclure les copies dans des couvertures portant, clairement et

de façon lisible, tous ces Textes de Couverture : les deux couvertures doivent également vous identifier clairement et de façon lisible comme l'éditeur de ces copies. La première de couverture doit présenter le titre complet, tous les mots de ce titre étant également lisibles et visibles. Vous pouvez également ajouter des informations aux couvertures. La copie avec des modifications limitées aux couvertures, tant qu'elles préservent le titre du Document et respectent ces conditions, peut être considérée comme une copie mot pour mot dans ses autres aspects.

Si les textes requis pour l'une ou l'autre des couvertures sont trop volumineux pour tenir de façon lisible, vous devez placer les premiers (autant qu'il en tient raisonnablement) sur la couverture réelle, et continuer le reste sur les pages adjacentes.

Si vous publiez ou distribuez des copies Opaques du Document avec une numérotation supérieure à 100, vous devez inclure une copie Transparente lisible en machine avec chaque copie Opaque, ou indiquer dans ou avec chaque copie Opaque un emplacement de réseau informatique auquel le public utilisant le réseau peut accéder pour télécharger, en utilisant des protocoles réseau publics standard, une copie Transparente complète du Document, sans informations supplémentaires. Si vous choisissez la dernière option, vous devez respecter des étapes raisonnables, lorsque vous commencez la distribution de copies Opaques en quantité, pour vous assurer que cette copie Transparente restera ainsi accessible à l'emplacement indiqué au moins un an après la dernière distribution d'une copie Opaque (directement ou par l'intermédiaire de vos agents ou de vos distributeurs) de cette édition au public.

Il est demandé, mais pas obligatoire, de contacter les auteurs du Document bien avant de redistribuer un grand nombre de copies, pour leur permettre de vous en fournir une version actualisée.

4. MODIFICATIONS

Vous pouvez copier et distribuer une Version Modifiée du Document conformément aux conditions des sections 2 et 3 ci-dessus, pourvu que vous diffusiez la Version Modifiée en respectant précisément cette Licence, la Version Modifiée jouant le rôle du Document, accordant ainsi la licence de distribution et de modification de la Version Modifiée à quiconque en possède une copie. En outre, vous devez procéder de la façon suivante dans la Version Modifiée :

- A. Utiliser dans la Page de Titre (et sur les couvertures le cas échéant) un titre distinct de celui du Document et de ceux des versions précédentes (qui devraient être répertoriés dans la section Historique du Document). Vous pouvez utiliser le même titre qu'une version précédente si l'éditeur d'origine de cette version vous en donne l'autorisation.
- B. Indiquer sur la Page de Titre, en tant qu'auteurs, une ou plusieurs personnes ou entités responsable de la paternité des modifications de la Version Modifiée, ainsi qu'au moins cinq des principaux auteurs du Document (tous ses principaux auteurs, s'ils sont moins de cinq), sauf s'ils vous dispensent de cette obligation.
- C. Indiquer sur la Page de Titre le nom de l'éditeur de la Version Modifiée, en tant qu'éditeur.
- D. Conserver toutes les mentions de copyright du Document.
- E. Ajouter une mention de copyright appropriée pour vos modifications à côté des autres mentions de copyright.
- F. Inclure, immédiatement après les mentions de copyright, une mention de licence donnant au public l'autorisation d'utiliser la Version Modifiée conformément aux termes de cette Licence, sous la forme indiquée dans l'Addendum ci-dessous.
- G. Conserver dans cette mention de licence la liste complète des Sections Invariantes et des Textes de Couverture fournie dans la mention de licence du Document.
- H. Inclure une copie non modifiée de cette Licence.
- I. Conserver la section intitulée « Historique », Conserver son Titre et lui ajouter un élément indiquant au moins le titre, l'année, les nouveaux auteurs et l'éditeur de la Version Modifiée comme indiqué dans la Page de Titre. S'il n'existe pas de section Intitulée Historique dans le Document, créez-en une qui mentionne le titre, l'année, les nouveaux auteurs et l'éditeur du Document comme indiqué dans sa Page de Titre, puis ajoutez un élément décrivant la Version Modifiée comme indiqué dans la phrase qui précède.

- J. Conserver l'emplacement réseau, le cas échéant, fourni dans le Document pour l'accès public à une copie Transparente du Document, ainsi que les emplacements réseau fournis dans le Document pour les versions précédentes sur lequel il était basé. Ils peuvent être placés dans la section Historique. Vous pouvez omettre un emplacement réseau pour un travail qui a été publié au moins quatre ans avant le Document lui-même, ou si l'éditeur d'origine de la version auquel il fait référence en donne l'autorisation.
- K. Pour toute section intitulée « Remerciements » ou « Dédicaces », conserver le Titre de la section, et conserver dans la section toute la substance et le ton de chacun des remerciements et/ou dédicaces des contributeurs mentionnés.
- L. Conserver toutes les Sections Invariantes du Document, sans modifications de leurs textes ni de leurs titres. Les numéros de section ou leur équivalent ne sont pas considérés comme faisant partie des titres de section.
- M. Supprimer toute section intitulée « Recommandations ». Une telle section ne peut être incluse à la Version Modifiée.
- N. Ne pas modifier le titre d'une section existante dont le titre est « Recommandations » ou ne pas créer de conflit avec le titre d'une Section Invariante.
- O. Conserver les Limitations de Garantie.

Si la Version Modifiée comporte de nouvelles sections liminaires ou des annexes qui en font des Sections Secondaires et ne contiennent aucune information copiée à partir du Document, vous pouvez si vous le souhaitez désigner certaines ou toutes ces sections comme invariantes. Pour ce faire, ajoutez leurs titres à la liste des sections invariantes de la mention de licence de la version modifiée. Ces titres doivent être distincts des autres titres de section.

Vous pouvez ajouter une section intitulée « Recommandations », pour autant qu'elle ne contienne rien d'autre que des recommandations de votre Version Modifiée par différentes parties (par exemple, des déclarations d'évaluation par vos pairs ou indiquant que le texte a été approuvé par une organisation comme définition ou norme faisant autorité).

Vous pouvez ajouter un passage pouvant atteindre cinq mots comme Texte de la Première de Couverture, et un passage pouvant atteindre vingt-cinq mots comme Texte de Dernière de Couverture, à la fin de la liste des Textes de Couverture de la Version Modifiée. Un seul passage de Texte de la Première de Couverture et de Texte de Dernière de Couverture peut être ajouté par (ou par l'intermédiaire d'accords effectués par) une entité quelconque. Si le Document inclut déjà un texte de couverture pour la même couverture, précédemment ajouté par vous ou par

un accord effectué par l'entité pour le compte de laquelle vous agissez, vous ne pouvez pas en ajouter d'autre ; mais vous pouvez remplacer l'ancien, avec l'autorisation explicite de l'éditeur qui avait ajouté l'ancien.

Le ou les auteur(s) et éditeur(s) du Document n'accordent pas par cette Licence l'autorisation d'utiliser leurs noms pour la publicité de ou pour revendiquer ou insinuer la signature d'une quelconque Version Modifiée.

5. COMBINAISON DE DOCUMENTS

Vous pouvez combiner le Document à d'autres documents diffusés dans le cadre de cette Licence, conformément aux termes définis dans la section 4 ci-dessus pour les versions modifiées, pourvu que vous incliez à la combinaison toutes les Sections Invariantes de tous les documents d'origine, non modifiés, et que vous les répertoriez tous comme Sections Invariantes de votre travail combiné dans sa mention de licence, et que vous conserviez toutes ses Limitations de Garantie.

Le travail combiné ne doit contenir qu'une copie de cette Licence, et plusieurs Sections Invariantes identiques peuvent être remplacées par une seule copie. S'il existe plusieurs Sections Invariantes portant le même nom mais avec un contenu différent, rendez le titre de chacune de ces sections unique en ajoutant à la fin de celui-ci, entre parenthèses, le nom de l'auteur ou de l'éditeur d'origine de cette section s'il est connu, ou sinon un numéro unique. Effectuez le même ajustement aux titres des sections dans la liste des Sections Invariantes de la mention de licence du travail combiné.

Dans le travail combiné, vous devez compiler les sections intitulées « Historique » des différents documents originaux, afin de ne plus former qu'une section intitulée « Historique » ; de la même manière, compilez les sections intitulées « Remerciements » et « Dédicaces ». Vous devez supprimer toutes les sections intitulées « Recommandations ».

6. ENSEMBLES DE DOCUMENTS

Vous pouvez réaliser un ensemble constitué du Document et d'autres documents diffusés dans le cadre de cette Licence, et remplacer les copies individuelles de cette Licence dans les différents documents par une copie unique incluse à l'ensemble, pourvu que vous respectiez les règles de cette Licence concernant la copie mot pour mot de chacun des documents dans tous leurs autres aspects.

Vous pouvez extraire un document unique d'un tel ensemble, et le distribuer individuellement dans le cadre de cette Licence, pourvu que vous inséries une copie de cette Licence dans le document extrait, et que vous respectiez cette Licence dans tous ses autres aspects concernant la copie mot pour mot de ce document.

7. AGRÉGATION AVEC DES TRAVAUX INDÉPENDANTS

Une compilation du Document ou de ses dérivés avec d'autres documents ou travaux séparés et indépendants, dans ou sur un volume de stockage ou un support de distribution, est appelé un « agrégation » si le copyright résultant de la compilation n'est pas utilisé pour limiter les droits légaux des utilisateurs de la compilation au-delà de ce qu'autorisent les travaux individuels. Lorsque le Document est inclus dans une agrégation, cette Licence ne s'applique pas aux autres travaux de l'agrégation qui ne sont pas eux-mêmes des travaux dérivés du Document.

Si l'obligation relative au Texte de Couverture de la section 3 est applicable à ces copies du Document, si le Document est inférieur à la moitié de l'agrégation dans son ensemble, les Textes de Couverture du Document peuvent être placés sur les couvertures qui regroupent le Document au sein de l'agrégation, ou l'équivalent électronique des couvertures si le Document est au format électronique. Sinon, ils doivent apparaître sur les couvertures imprimées qui regroupent l'agrégation complète.

8. TRADUCTION

La traduction étant considérée comme une sorte de modification, vous êtes autorisé à distribuer des traductions du Document conformément aux dispositions de la section 4. Le remplacement des Sections Invariantes par des traductions nécessite une autorisation spéciale de leurs détenteurs de copyright, mais vous pouvez inclure des traductions de certaines ou de toutes les Sections Invariantes en plus des versions originales de ces Sections Invariantes. Vous pouvez inclure une traduction de cette Licence, toutes les mentions de licence du Document et toutes les Limitations de Garantie, pourvu que vous incluiez également la version anglaise d'origine de cette Licence et les versions d'origine de ces mentions et de ces limitations. En cas de désaccord entre la traduction et la version originale de cette Licence ou d'une mention ou d'une limitation, la version d'origine prévaut.

Si une section du Document est intitulée « Remerciements », « Dédicaces » ou « Historique », l'obligation (section 4) de conserver son Titre (section 1) nécessitera généralement de changer le titre réel.

9. RÉSILIATION

Vous ne pouvez copier, modifier, accorder une sous-licence, ou distribuer le Document excepté dans le strict respect de cette Licence. Toute autre tentative de copier, modifier, accorder une sous-licence, ou distribuer le Document est nulle et met automatiquement fin à vos droits relatifs à cette Licence. Toutefois, les parties qui ont reçu de votre part des copies, ou des droits dans le cadre de cette Licence ne verront pas leurs licences annulées si elles respectent strictement les termes de cette licence.

10. FUTURES RÉVISIONS DE LA PRÉSENTE LICENCE

La Free Software Foundation peut publier des versions nouvelles, révisées, de la Licence de Documentation Libre GNU de temps à autre. Ces nouvelles versions seront semblables en esprit à la présente version, mais elles peuvent différer dans ses détails pour répondre à de nouveaux problèmes ou à de nouveaux besoins. Reportez-vous à la page <https://www.gnu.org/copyleft/>.

Chaque version de la Licence reçoit un numéro distinctif. Si le Document spécifie qu'un numéro de version particulier de cette Licence ou de toute autre version ultérieure s'y applique, vous avez la possibilité de respecter les termes et conditions de cette version spécifiée ou de toute autre version ultérieure publiée (autrement que sous forme de brouillon) par la Free Software Foundation. Si le Document ne spécifie pas de numéro de version de cette Licence, vous pouvez choisir n'importe quelle version publiée (autrement que sous forme de brouillon) par la Free Software Foundation.

ANNEXE : comment utiliser la présente Licence pour vos documents

```
Copyright (c) YEAR YOUR NAME.
Permission is granted to copy, distribute and/or modify this document
under the terms of the GNU Free Documentation License, Version 1.2
or any later version published by the Free Software Foundation;
with no Invariant Sections, no Front-Cover Texts, and no Back-Cover Texts.
A copy of the license is included in the section entitled "GNU
Free Documentation License".
```

Si vous avez des Sections Invariantes, Textes de Première de Couverture et Textes de Dernière de Couverture, remplacez la ligne « with...Texts » par :

```
with the Invariant Sections being LIST THEIR TITLES, with the
Front-Cover Texts being LIST, and with the Back-Cover Texts being LIST.
```

Si vous avez des Sections Invariantes sans Textes de Couverture, ou une autre combinaison des trois, fusionnez ces deux alternatives pour vous adapter à la situation.

Si votre document contient des exemples inhabituels de code programme, nous vous recommandons de diffuser ces exemples en parallèle sous votre choix de la licence de logiciel libre, telle que la Licence publique générale GNU, pour en permettre l'utilisation comme un logiciel libre.