

Synchronisation de l'heure à l'aide du protocole NTP/NTS

CONTENU

Cet article décrit en quoi consiste la synchronisation horaire et comment la configurer.

MOTIF

La synchronisation de l'heure système est cruciale lors du partage de tâches et de ressources avec d'autres membres de l'équipe sur le réseau.

EFFORT

Comptez jusqu'à 60 minutes pour lire cet article et effectuer une configuration de base de la synchronisation horaire sur votre ordinateur.

CONDITIONS REQUISES

- Une connaissance de base de l'administration du système Linux est requise. Certaines tâches exigent des privilèges root.
- Une connexion réseau fonctionnelle au réseau interne ou à Internet pour atteindre le serveur horaire source.

Date de publication : 11 déc 2025

Table des matières

1	Introduction	3
---	--------------	---

2	Configuration de NTP en ajustant /etc/chrony.conf	5
3	Gestion de chronyd au moment de l'exécution	9
4	Configuration de NTS	10
5	Le service chronydsystemd	13
6	Dépannage	13
7	Informations supplémentaires	15
8	Mentions légales	15
A	GNU Free Documentation License	16

1 Introduction

Une heure système exacte et synchronisée sur l'ordinateur est essentielle pour le travail d'équipe. Les applications de planification et d'agenda comptent sur cette ponctualité pour suivre l'heure comme il se doit et informer les utilisateurs à temps de leurs rendez-vous. Pour les applications en cluster, les machines hôtes individuelles requièrent souvent une heure système synchronisée pour une communication mutuelle.

L'horloge matérielle intégrée n'est pas une source horaire fiable. Une correction manuelle de l'heure système peut entraîner un dysfonctionnement des applications essentielles en raison de sauts de temps soudains. Par conséquent, l'heure système doit être synchronisée avec une source horaire externe fiable sur le réseau.

1.1 Présentation du protocole NTP

Le protocole NTP (Network Time Protocol) est conçu pour synchroniser l'heure système sur le réseau. Son objectif est de conserver l'heure absolue et de l'utiliser pour synchroniser l'heure système de toutes les machines d'un réseau.

1.2 Présentation du protocole NTS

NTS (Network Time Security) est une extension de sécurité de NTP. NTS fournit des mécanismes pour authentifier les messages NTP et les chiffrer, ce qui garantit que les données horaires reçues sont à la fois sécurisées et authentiques. NTS est conçu pour permettre une rétrocompatibilité avec l'infrastructure NTP existante. Cela permet un déploiement progressif sans nécessiter de modifications sur les serveurs NTP existants qui ne prennent pas en charge NTS.

1.3 Mode de fonctionnement

Lorsque le service NTP est correctement configuré, il interroge et ajuste en permanence l'heure système avec des serveurs horaires fiables. Généralement, les ordinateurs personnels et les autres périphériques connectés à Internet sont configurés pour interroger un serveur horaire public sur Internet.

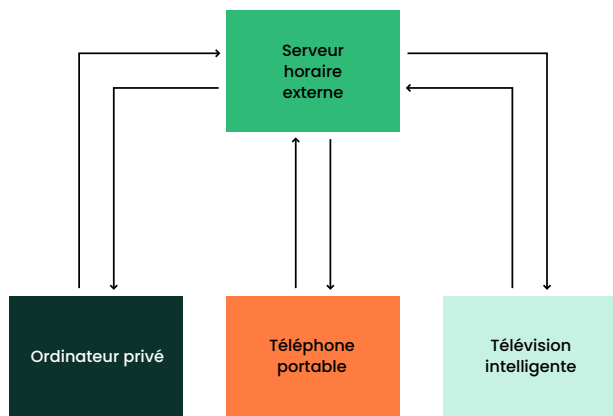


FIGURE 1 : PÉRIPHÉRIQUES INDIVIDUELS INTERROGEANT UN SERVEUR HORAIRE PUBLIC

À l'inverse, les ordinateurs de bureau et les serveurs qui résident dans un sous-réseau d'entreprise sont configurés pour interroger un serveur horaire dédié au sein du réseau local. Le serveur horaire proprement dit synchronise son heure avec un serveur horaire public.

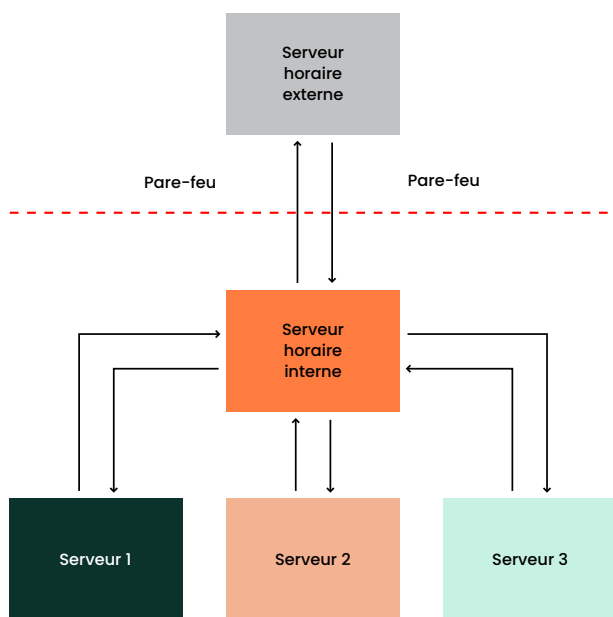


FIGURE 2 : PLUSIEURS HÔTES INTERROGEANT UN SERVEUR HORAIRE INTERNE

1.3.1 Implémentation

chrony est l'implémentation par défaut de NTP dans SUSE Linux Enterprise Server for SAP Applications. chrony comprend deux parties :

- chronyd est un service systemd qui peut être lancé au moment du démarrage.
- **chronyc** est un programme d'interface de ligne de commande permettant de surveiller les performances de chronyd et de modifier des paramètres de fonctionnement spécifiques pendant l'exécution.

1.4 Avantages

L'utilisation de NTP pour maintenir l'heure exacte présente les avantages suivants :

- Les utilisateurs peuvent se fier à leur horloge lorsqu'ils doivent respecter un calendrier planifié.
- Les applications peuvent déclencher avec précision des opérations planifiées sur le bureau ou le système.
- Les noeuds de grappe peuvent maintenir leurs données synchronisées et à jour.
- L'utilisation d'un serveur horaire interne permet de maintenir l'heure système synchronisée dans les réseaux ayant un accès limité à Internet.
- En intégrant des mesures de sécurité dans NTP via NTS, le protocole améliore sa robustesse et corrige les vulnérabilités associées à la synchronisation horaire non sécurisée.

2 Configuration de NTP en ajustant `/etc/chrony.conf`

Quand il démarre, chronyd lit sa configuration dans le fichier `/etc/chrony.conf`. Les sections suivantes répertorient les paramètres importants susceptibles d'affecter le comportement de chronyd.

2.1 Spécification des sources horaires

Pour que l'horloge de l'ordinateur reste synchronisée, vous devez indiquer à `chronyd` les sources horaires à utiliser. Pour ce faire, utilisez les directives `server`, `pool` et `peer`. Vous pouvez utiliser chacune d'elles plusieurs fois.

La directive `server` indique à `chronyd` d'utiliser un hôte spécifique comme serveur horaire par son nom ou son adresse IP.

```
server 0.europe.pool.ntp.org offline ❶  
server 1.europe.pool.ntp.org offline prefer ❷  
server 192.168.2.254
```

- ❶ L'option `offline` empêche `chronyd` d'interroger le serveur horaire. Cette option est utile si le serveur n'est pas joignable au démarrage de `chronyd`. Vous devez mettre le serveur horaire en ligne lorsqu'il est joignable en utilisant `chronyc`. Pour plus d'informations, consultez la [Section 3, « Gestion de chronyd au moment de l'exécution »](#).
- ❷ L'option `prefer` indique à `chronyd` de privilégier cette source horaire par rapport à d'autres qui n'incluent pas cette option.

La directive `pool` vous permet de spécifier un nom de réseau qui se résout en plusieurs adresses IP susceptibles de changer au fil du temps.

```
pool pool.ntp.org iburst ❶ maxsources 3 ❷
```

- ❶ L'option `iburst` signifie que `chronyd` commence par une rafale de 4 à 8 requêtes pour effectuer la première mise à jour de l'horloge plus tôt.
- ❷ L'option `maxsources` indique à `chronyd` d'utiliser jusqu'à trois sources du pool.

La directive `peer` spécifie un hôte homologue NTP au lieu d'un serveur horaire. La synchronisation horaire du système entre *homologues* utilise une architecture symétrique au lieu du mode client/serveur invoqué par les options `server` et `pool`. Vous pouvez utiliser `peer` plusieurs fois pour spécifier plusieurs homologues.

```
peer 192.168.1.116  
peer ntp.example.com
```

2.2 Exécution de `chronyd` en tant que serveur NTP

Par défaut, `chronyd` fonctionne comme un client pour les serveurs NTP spécifiés. Pour qu'il fonctionne comme serveur NTP également, ajoutez la directive `allow` au fichier `/etc/chrony.conf`. Elle ouvre le port du serveur NTP (123 par défaut) et répond aux requêtes des clients.

Vous pouvez spécifier une adresse IP unique pour un client NTP ou un sous-réseau pour inclure plusieurs clients. Vous pouvez utiliser la directive `allow` plusieurs fois :

```
allow 1.2.3.4
allow 3.4.5.0/24
```



Astuce

Si vous ne spécifiez pas d'adresse IP ou de sous-réseau, la directive `allow` autonome autorise l'accès à partir de toutes les adresses IPv4 et IPv6.

Pour limiter l'accès de la directive `allow` précédente, utilisez la directive `deny` :

```
allow 1.2.3.4
deny 1.2.3.0/24
allow 1.2.0.0/16
```

Dans l'exemple ci-dessus, l'effet est identique quel que soit l'ordre des trois directives. Le sous-réseau `1.2.0.0/16` est autorisé à accéder mais pas le sous-réseau `1.2.3.0/24`, auquel l'accès est refusé. L'accès est toutefois autorisé à l'hôte `1.2.3.4`.

2.3 Configuration d'une horloge de référence locale

`chronyd` se base sur d'autres programmes (tels que `gpsd`) pour accéder aux données de synchronisation via un pilote spécifique. Utilisez la directive `refclock` dans `/etc/chrony.conf` pour spécifier une horloge de référence matérielle à utiliser comme source horaire. Elle comporte deux paramètres obligatoires : un nom de pilote et un paramètre spécifique au pilote. Les deux paramètres sont suivis de zéro ou plusieurs options `refclock`. `chronyd` comprend les pilotes suivants :

PPS

Pilote pour l'API *Pulse Per Second* (Impulsion par seconde) du kernel Linux. Par exemple :

```
refclock PPS /dev/pps0 lock NMEA refid GPS
```

SHM

Pilote de mémoire partagée NTP. Par exemple :

```
refclock SHM 0 poll 3 refid GPS1
refclock SHM 1:perm=0644 refid GPS2
```

SOCK

Pilote de socket de domaine Unix. Par exemple :

```
refclock SOCK /var/run/chrony.ttyS0.sock
```

PHC

Pilote d'horloge matérielle PTP. Par exemple :

```
refclock PHC /dev/ptp0 poll 0 dpoll -2 offset -37
refclock PHC /dev/ptp1:nocrossts poll 3 pps
```



Astuce

Pour plus d'informations sur les options des différents pilotes, reportez-vous à la commande **`man 8 chrony.conf`**.

2.4 Activation des sources horaires hors ligne

Même s'il se lance normalement sur un système qui démarre sans connexion réseau, `chronyd` ne peut pas accéder aux serveurs horaires spécifiés dans `/etc/chrony.conf`. Pour empêcher `chronyd` de tenter d'interroger des serveurs horaires inaccessibles, utilisez l'option `offline` derrière la directive de source horaire, par exemple :

```
server ntp.example.org offline
```

Dans ce cas, `chronyd` ne tente pas d'interroger le serveur tant qu'il n'est pas activé à l'aide de la commande suivante :

```
# chronyc online ntp.example.org
```



Astuce

Lorsque l'option `auto_offline` est définie à la place de `offline`, `chronyd` suppose que le serveur horaire est hors ligne si deux requêtes lui ont été envoyées sans réponse. Cette option évite d'avoir à exécuter la commande `offline` à partir de `chronyc` lors de la déconnexion de la liaison réseau.

3 Gestion de `chronyd` au moment de l'exécution

3.1 Qu'est-ce que `chronyc` ?

`chronyc` est la partie client de l'implémentation NTP `chrony`. Vous pouvez utiliser la commande `chronyc` pour modifier le comportement du service `chronyd` lors de l'exécution. Elle génère également des rapports d'état sur le fonctionnement de `chronyd`.



Remarque : modifications temporaires

Les modifications apportées à l'aide de `chronyc` ne sont pas permanentes. Elles seront perdues au prochain redémarrage de `chronyd`. Pour que les changements soient permanents, modifiez `/etc/chrony.conf` comme décrit à la [Section 2, « Configuration de NTP en ajustant `/etc/chrony.conf` »](#).

3.2 Comment fonctionne `chronyc` ?

Vous pouvez exécuter `chronyc` en mode interactif ou non interactif. Pour exécuter `chronyc` de manière interactive, entrez `chronyc` sur la ligne de commande, puis appuyez sur **Entrée**. Une invite s'affiche et attend que vous entriez une commande. Par exemple, pour vérifier combien de sources NTP sont en ligne ou hors ligne, exécutez la commande `activity` :

```
# chronyc
chronyc> activity
200 OK
4 sources online
2 sources offline
1 sources doing burst (return to online)
```

```
1 sources doing burst (return to offline)
0 sources with unknown address
```

Pour quitter l'invite de **chronyc**, entrez **quit** ou **exit**.

Si vous n'avez pas besoin d'utiliser l'invite interactive, entrez la commande directement, par exemple :

```
# chronyc activity
```

4 Configuration de NTS

Le protocole NTP n'introduit pas de mécanisme de sécurité permettant d'authentifier et de chiffrer la communication entre le serveur horaire et le client. Network Time Security (NTS) est une extension qui améliore la sécurité de NTP. **chrony** prend en charge NTS et peut authentifier les sources horaire et offrir une protection contre certaines attaques réseau.

Les procédures suivantes expliquent comment configurer le serveur horaire et la machine cliente pour une synchronisation sécurisée du temps.

PROCÉDURE 1 : CONFIGURATION DU SERVEUR HORAIRE NTS

1. *(Facultatif)* Il est conseillé de configurer le serveur horaire pour que l'heure se mette à jour via NTS. Cela garantit une synchronisation du temps sécurisée dès le début de la chaîne de synchronisation. Commentez toutes les sources de temps existantes à l'emplacement `/etc/chrony.conf` qui ne prennent pas en charge NTS et ajoutez-en au moins une qui prend en charge NTS, par exemple :

```
server time.cloudflare.com iburst nts
```



Astuce

L'option `nts` demande une connexion NTS si elle est disponible. Dans le cas contraire, elle se rabat sur NTP si NTS n'est pas disponible.

2. Redémarrez le service `chronyd`.

```
> sudo systemctl restart chronyd.service
```

3. Vérifiez les sources horaires configurées.

```
> chronyc sources -v
```

MS Name/IP address	Stratum	Poll	Reach	LastRx	Last sample
^? time.cloudflare.com	3	6	1	2	-947ms[-947ms] +/- 12ms
^? pyrrha.fi.muni.cz	2	6	1	1	-948ms[-948ms] +/- 39ms
^* whitesoft-intex16.c.cbsn>	1	6	1	2	-948ms[-948ms] +/- 5444us
^? mail.combatostrich.dev	2	6	1	1	-948ms[-948ms] +/- 28ms



Remarque

La ligne qui commence par `^*` comprend la meilleure source horaire sélectionnée.

Vérifiez que la source horaire configurée utilise le mode NTS.

```
> chronyc -N authdata
Name/IP address          Mode KeyID Type KLen Last Atmp  NAK Cook CLen
=====
[...]
time.cloudflare.com      NTS     1  15 256   3    0    0    8  96
```

- Vérifiez que la configuration du serveur inclut l'option `allow` qui spécifie quels clients peuvent synchroniser l'heure avec le serveur horaire, par exemple :

```
allow 192.168.1.0/24
```

- (Facultatif) Si le serveur horaire fonctionne derrière un pare-feu, autorisez la communication sur les ports pour NTP et NTS. Il s'agit des ports 123 et 4460 par défaut.
- Obtenez un certificat TLS et une clé privée correspondante et copiez-les à l'emplacement `/var/lib/chrony/`. Vérifiez que `chrony` peut les lire, par exemple :

```
> sudo install -m 0440 -o chrony -g chrony nts.key /var/lib/chrony/
> sudo install -m 0440 -o chrony -g chrony nts.crt /var/lib/chrony/
```



Astuce

Vous trouverez des informations détaillées sur les certificats TLS dans un [article dédié](https://documentation.suse.com/smart/security/html/tls-certificates/index.html) (<https://documentation.suse.com/smart/security/html/tls-certificates/index.html>) .

- Modifiez `/etc/chrony.conf` et vérifiez que l'option `ntsdumpdir /var/lib/chrony` est active. Ajoutez ensuite les chemins d'accès à la clé et au certificat TLS.

```
ntsdumpdir /var/lib/chrony
ntsserverkey /var/lib/chrony/nts.key
ntsservercert /var/lib/chrony/nts.crt
```

8. Redémarrez le service `chronyd`.

```
> sudo systemctl restart chronyd.service
```

PROCÉDURE 2 : CONFIGURATION DES CLIENTS NTS

1. Désactivez les sources NTP existantes, par exemple :

```
#server 192.168.1.1 iburst
```

Les configurations des sources sont incluses dans le fichier `/etc/chrony.conf` ou dans les fichiers à l'emplacement `/etc/chrony.d/`.

2. L'hôte client doit approuver l'autorité de certification racine qui a signé le certificat TLS. Des détails sur la gestion du magasin de certificats de l'autorité de certification sont disponibles dans un [article dédié \(https://documentation.suse.com/smart/security/html/tls-certificates/index.html#tls-certificates-store\)](https://documentation.suse.com/smart/security/html/tls-certificates/index.html#tls-certificates-store).

3. Ajoutez la source du serveur horaire NTS que vous avez configurée dans la *Procédure 1*, « *Configuration du serveur horaire NTS* » à la configuration `chrony` du client dans `/etc/chrony.conf`, par exemple :

```
server nts1.example.com iburst nts
```

4. Redémarrez le service `chronyd`.

```
> sudo systemctl restart chronyd.service
```

5. Vérifiez les sources de temps configurées sur le client et confirmez que la connexion est authentifiée.

```
> sudo chronyc sources -v
> sudo chronyc -N authdata
```

6. Sur le serveur horaire NTS, vérifiez les statistiques par client concernant les connexions NTS.

```
> sudo chronyc -N clients -k
```

5 Le service chronydsystemd

La partie principale de `chrony` est le service `chronydsystemd` qui s'exécute en arrière-plan et synchronise l'heure système avec les serveurs horaires sélectionnés. Vous pouvez utiliser les commandes `systemd` suivantes pour faire fonctionner le service `chronyd` :

`systemctl status chronyd.service`

Imprime des informations détaillées sur l'état actuel du service `chronyd`.

`systemctl is-enabled chronyd.service`

Vérifie si le démarrage automatique du service `chronyd` au démarrage du système est activé.

`systemctl enabled chronyd.service`

Active le démarrage automatique du service `chronyd` au démarrage du système.

`systemctl disable chronyd.service`

Désactive le démarrage automatique du service `chronyd` au démarrage du système.

`systemctl is-active chronyd.service`

Vérifie si le service `chronyd` a été démarré et est en cours d'exécution.

`systemctl start chronyd.service`

Démarre le service `chronyd`.

`systemctl stop chronyd.service`

Arrête le service `chronyd`.

`systemctl restart chronyd.service`

Redémarre le service `chronyd` et recharge `/etc/chronyd.conf`.

6 Dépannage

En cas d'erreur, vérifiez les points suivants.

- Vérifiez que votre ordinateur est connecté à un réseau et que le réseau est correctement configuré :

```
> sudo systemctl status network.service
● NetworkManager.service - Network Manager
```

```
Loaded: loaded (/usr/lib/systemd/system/NetworkManager.service; enabled; vendor
preset: disabled)
Active: active (running) since Sat 2021-08-07 20:09:44 CEST; 4 days ago
[...]
```

- Vérifiez que les serveurs horaires que vous avez entrés comme source horaire existent et sont accessibles sur le réseau. Par exemple :

```
> ping pool.ntp.org
PING pool.ntp.org (85.199.214.101) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 85.199.214.101 (85.199.214.101): icmp_seq=1 ttl=37 time=29.9 ms
[...]
```

- Si le service `firewalld` est actif sur votre ordinateur, vérifiez que le service NTP est autorisé.
- Vérifiez que le service `chronyd` est en cours d'exécution :

```
> sudo systemctl status chronyd.service
● chronyd.service - NTP client/server
   Loaded: loaded (/usr/lib/systemd/system/chronyd.service; enabled; vendor
   preset: disabled)
   Active: active (running) since Sat 2021-08-07 20:09:44 CEST; 4 days ago
   [...]
```

- Si l'heure système d'un invité virtualisé diffère de l'heure exacte, assurez-vous que l'heure système du serveur hôte de la machine virtuelle est synchronisée avec un serveur horaire valide et que l'invité est synchronisé avec la même source horaire que l'hôte.
- Si le service NTP ne se lance pas correctement au démarrage du système, cela peut être dû à des commutateurs réseau configurés pour utiliser le [Spanning Tree Protocol](#), alors que les ports ne sont pas configurés comme [Edge Ports](#) mais comme [Portfast](#). Dans ce cas, l'établissement de la connectivité réseau peut prendre jusqu'à une minute.
- Si le service NTP ne démarre pas lors du démarrage du système lorsque `NetworkManager` est utilisé, modifiez le fichier `/etc/sysconfig/network/config`, puis modifiez la valeur de `NM_ONLINE_TIMEOUT` sur 30. Si le problème persiste, augmentez la valeur de timeout de 15, puis réessayez.
- Si les sources NTP ne sont pas accessibles, identifiez-les avec la commande suivante :

```
> chronyc sources -v
[...]
```

MS	Name/IP address	Stratum	Poll	Reach	LastRx	Last sample
=====						

```

^* time.mydomain.com      3 10 377 81 -5354us[-8257us] +/- 191ms
^? ntp1.example.com      0 10  0  -  +0ns[ +0ns] +/-  0ns
^? 77.177.77.177         0 10  0  -  +0ns[ +0ns] +/-  0ns
^? ntp3.example.com      0 10  0  -  +0ns[ +0ns] +/-  0ns
^? ntp4.example.net      0 10  0  -  +0ns[ +0ns] +/-  0ns
^? 2a02:3d8:1::1:1       0  6  0  -  +0ns[ +0ns] +/-  0ns
^? ntp2.example.org      0 10  0  -  +0ns[ +0ns] +/-  0ns

```

Dans ce cas, le seul serveur qui fournit réellement l'heure est `time.mydomain.com`. Il est nécessaire de résoudre globalement la connexion réseau au niveau des sources horaires NTP distantes défailtantes.

7 Informations supplémentaires

- La sécurisation de votre ordinateur avec `firewalld` est décrite dans la documentation <https://documentation.suse.com/sles/html/SLES-all/cha-security-firewall.html#sec-security-firewall-firewalld>.
- Les commandes pour le fonctionnement des services `systemd` sont répertoriées dans le document <https://susedoc.github.io/doc-modular/main/html/reference-systemctl-enable-disable-services/>.
- Pour une référence complète, reportez-vous aux pages de manuel correspondantes :
 Pour obtenir la liste complète des directives de configuration, exécutez `man 1 chrony.conf`.
 Pour obtenir la liste complète des commandes `chronyc`, exécutez `man 1 chronyc`.
 Pour obtenir la liste complète des options de ligne de commande `chronyd`, exécutez `man 8 chronyd`.

8 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 « GNU Free Documentation License » version 1.2 ou (à votre discrétion) 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 « GNU Free Documentation License ».

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 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 GNU Free Documentation License

Copyright (C) 2000, 2001, 2002 Free Software Foundation, Inc. 51 Franklin St, Fifth Floor, Boston, MA 02110-1301 USA. Everyone is permitted to copy and distribute verbatim copies of this license document, but changing it is not allowed.

0. PREAMBLE

The purpose of this License is to make a manual, textbook, or other functional and useful document "free" in the sense of freedom: to assure everyone the effective freedom to copy and redistribute it, with or without modifying it, either commercially or non-commercially. Secondly, this License preserves for the author and publisher a way to get credit for their work, while not being considered responsible for modifications made by others.

This License is a kind of "copyleft", which means that derivative works of the document must themselves be free in the same sense. It complements the GNU General Public License, which is a copyleft license designed for free software.

We have designed this License to use it for manuals for free software, because free software needs free documentation: a free program should come with manuals providing the same freedoms that the software does. But this License is not limited to software manuals; it can be used for any textual work, regardless of subject matter or whether it is published as a printed book. We recommend this License principally for works whose purpose is instruction or reference.

1. APPLICABILITY AND DEFINITIONS

This License applies to any manual or other work, in any medium, that contains a notice placed by the copyright holder saying it can be distributed under the terms of this License. Such a notice grants a world-wide, royalty-free license, unlimited in duration, to use that work under the conditions stated herein. The "Document", below, refers to any such manual or work. Any member of the public is a licensee, and is addressed as "you". You accept the license if you copy, modify or distribute the work in a way requiring permission under copyright law.

A "Modified Version" of the Document means any work containing the Document or a portion of it, either copied verbatim, or with modifications and/or translated into another language.

A "Secondary Section" is a named appendix or a front-matter section of the Document that deals exclusively with the relationship of the publishers or authors of the Document to the Document's overall subject (or to related matters) and contains nothing that could fall directly within that overall subject. (Thus, if the Document is in part a textbook of mathematics, a Secondary Section may not explain any mathematics.) The relationship could be a matter of historical connection with the subject or with related matters, or of legal, commercial, philosophical, ethical or political position regarding them.

The "Invariant Sections" are certain Secondary Sections whose titles are designated, as being those of Invariant Sections, in the notice that says that the Document is released under this License. If a section does not fit the above definition of Secondary then it is not allowed to be designated as Invariant. The Document may contain zero Invariant Sections. If the Document does not identify any Invariant Sections then there are none.

The "Cover Texts" are certain short passages of text that are listed, as Front-Cover Texts or Back-Cover Texts, in the notice that says that the Document is released under this License. A Front-Cover Text may be at most 5 words, and a Back-Cover Text may be at most 25 words.

A "Transparent" copy of the Document means a machine-readable copy, represented in a format whose specification is available to the general public, that is suitable for revising the document straightforwardly with generic text editors or (for images composed of pixels) generic paint programs or (for drawings) some widely available drawing editor, and that is suitable for input to text formatters or for automatic translation to a variety of formats suitable for input to text formatters. A copy made in an otherwise Transparent file format whose markup, or absence of markup, has been arranged to thwart or discourage subsequent modification by readers is not Transparent. An image format is not Transparent if used for any substantial amount of text. A copy that is not "Transparent" is called "Opaque".

Examples of suitable formats for Transparent copies include plain ASCII without markup, Texinfo input format, LaTeX input format, SGML or XML using a publicly available DTD, and standard-conforming simple HTML, PostScript or PDF designed for human modification. Examples of transparent image formats include PNG, XCF and JPG. Opaque formats include proprietary formats that can be read and edited only by proprietary word processors, SGML or XML for which the DTD and/or processing tools are not generally available, and the machine-generated HTML, PostScript or PDF produced by some word processors for output purposes only. The "Title Page" means, for a printed book, the title page itself, plus such following pages as are needed to hold, legibly, the material this License requires to appear in the title page. For works in formats which do not have any title page as such, "Title Page" means the text near the most prominent appearance of the work's title, preceding the beginning of the body of the text.

A section "Entitled XYZ" means a named subunit of the Document whose title either is precisely XYZ or contains XYZ in parentheses following text that translates XYZ in another language. (Here XYZ stands for a specific section name mentioned below, such as "Acknowledgements", "Dedications", "Endorsements", or "History".) To "Preserve the Title" of such a section when you modify the Document means that it remains a section "Entitled XYZ" according to this definition.

The Document may include Warranty Disclaimers next to the notice which states that this License applies to the Document. These Warranty Disclaimers are considered to be included by reference in this License, but only as regards disclaiming warranties: any other implication that these Warranty Disclaimers may have is void and has no effect on the meaning of this License.

2. VERBATIM COPYING

You may copy and distribute the Document in any medium, either commercially or non-commercially, provided that this License, the copyright notices, and the license notice saying this License applies to the Document are reproduced in all copies, and that you add no other conditions whatsoever to those of this License. You may not use technical measures to obstruct or control the reading or further copying of the copies you make or distribute. However, you may accept compensation in exchange for copies. If you distribute a large enough number of copies you must also follow the conditions in section 3.

You may also lend copies, under the same conditions stated above, and you may publicly display copies.

3. COPYING IN QUANTITY

If you publish printed copies (or copies in media that commonly have printed covers) of the Document, numbering more than 100, and the Document's license notice requires Cover Texts, you must enclose the copies in covers that carry, clearly and legibly, all these Cover Texts: Front-Cover Texts on the front cover, and Back-Cover Texts on the back cover. Both covers must also clearly and legibly identify you as the publisher of these copies. The front cover must present the full title with all words of the title equally prominent and visible. You may add other material on the covers in addition. Copying with changes limited to the covers, as long as they preserve the title of the Document and satisfy these conditions, can be treated as verbatim copying in other respects.

If the required texts for either cover are too voluminous to fit legibly, you should put the first ones listed (as many as fit reasonably) on the actual cover, and continue the rest onto adjacent pages.

If you publish or distribute Opaque copies of the Document numbering more than 100, you must either include a machine-readable Transparent copy along with each Opaque copy, or state in or with each Opaque copy a computer-network location from which the general network-using public has access to download using public-standard network protocols a complete Transparent copy of the Document, free of added material. If you use the latter option, you must take reasonably prudent steps, when you begin distribution of Opaque copies in quantity, to ensure that this Transparent copy will remain thus accessible at the stated location until at least one year after the last time you distribute an Opaque copy (directly or through your agents or retailers) of that edition to the public.

It is requested, but not required, that you contact the authors of the Document well before redistributing any large number of copies, to give them a chance to provide you with an updated version of the Document.

4. MODIFICATIONS

You may copy and distribute a Modified Version of the Document under the conditions of sections 2 and 3 above, provided that you release the Modified Version under precisely this License, with the Modified Version filling the role of the Document, thus licensing distribution and modification of the Modified Version to whoever possesses a copy of it. In addition, you must do these things in the Modified Version:

- A. Use in the Title Page (and on the covers, if any) a title distinct from that of the Document, and from those of previous versions (which should, if there were any, be listed in the History section of the Document). You may use the same title as a previous version if the original publisher of that version gives permission.
- B. List on the Title Page, as authors, one or more persons or entities responsible for authorship of the modifications in the Modified Version, together with at least five of the principal authors of the Document (all of its principal authors, if it has fewer than five), unless they release you from this requirement.
- C. State on the Title page the name of the publisher of the Modified Version, as the publisher.
- D. Preserve all the copyright notices of the Document.
- E. Add an appropriate copyright notice for your modifications adjacent to the other copyright notices.
- F. Include, immediately after the copyright notices, a license notice giving the public permission to use the Modified Version under the terms of this License, in the form shown in the Addendum below.
- G. Preserve in that license notice the full lists of Invariant Sections and required Cover Texts given in the Document's license notice.
- H. Include an unaltered copy of this License.
- I. Preserve the section Entitled "History", Preserve its Title, and add to it an item stating at least the title, year, new authors, and publisher of the Modified Version as given on the Title Page. If there is no section Entitled "History" in the Document, create one stating the title, year, authors, and publisher of the Document as given on its Title Page, then add an item describing the Modified Version as stated in the previous sentence.

- J. Preserve the network location, if any, given in the Document for public access to a Transparent copy of the Document, and likewise the network locations given in the Document for previous versions it was based on. These may be placed in the "History" section. You may omit a network location for a work that was published at least four years before the Document itself, or if the original publisher of the version it refers to gives permission.
- K. For any section Entitled "Acknowledgements" or "Dedications", Preserve the Title of the section, and preserve in the section all the substance and tone of each of the contributor acknowledgements and/or dedications given therein.
- L. Preserve all the Invariant Sections of the Document, unaltered in their text and in their titles. Section numbers or the equivalent are not considered part of the section titles.
- M. Delete any section Entitled "Endorsements". Such a section may not be included in the Modified Version.
- N. Do not retitle any existing section to be Entitled "Endorsements" or to conflict in title with any Invariant Section.
- O. Preserve any Warranty Disclaimers.

If the Modified Version includes new front-matter sections or appendices that qualify as Secondary Sections and contain no material copied from the Document, you may at your option designate some or all of these sections as invariant. To do this, add their titles to the list of Invariant Sections in the Modified Version's license notice. These titles must be distinct from any other section titles.

You may add a section Entitled "Endorsements", provided it contains nothing but endorsements of your Modified Version by various parties--for example, statements of peer review or that the text has been approved by an organization as the authoritative definition of a standard.

You may add a passage of up to five words as a Front-Cover Text, and a passage of up to 25 words as a Back-Cover Text, to the end of the list of Cover Texts in the Modified Version. Only one passage of Front-Cover Text and one of Back-Cover Text may be added by (or through arrangements made by) any one entity. If the Document already includes a cover text for the same cover, previously added by you or by arrangement made by the same entity you are acting on behalf of, you may not add another; but you may replace the old one, on explicit permission from the previous publisher that added the old one.

The author(s) and publisher(s) of the Document do not by this License give permission to use their names for publicity for or to assert or imply endorsement of any Modified Version.

5. COMBINING DOCUMENTS

You may combine the Document with other documents released under this License, under the terms defined in section 4 above for modified versions, provided that you include in the combination all of the Invariant Sections of all of the original documents, unmodified, and list them all as Invariant Sections of your combined work in its license notice, and that you preserve all their Warranty Disclaimers.

The combined work need only contain one copy of this License, and multiple identical Invariant Sections may be replaced with a single copy. If there are multiple Invariant Sections with the same name but different contents, make the title of each such section unique by adding at the end of it, in parentheses, the name of the original author or publisher of that section if known, or else a unique number. Make the same adjustment to the section titles in the list of Invariant Sections in the license notice of the combined work.

In the combination, you must combine any sections Entitled "History" in the various original documents, forming one section Entitled "History"; likewise combine any sections Entitled "Acknowledgements", and any sections Entitled "Dedications". You must delete all sections Entitled "Endorsements".

6. COLLECTIONS OF DOCUMENTS

You may make a collection consisting of the Document and other documents released under this License, and replace the individual copies of this License in the various documents with a single copy that is included in the collection, provided that you follow the rules of this License for verbatim copying of each of the documents in all other respects.

You may extract a single document from such a collection, and distribute it individually under this License, provided you insert a copy of this License into the extracted document, and follow this License in all other respects regarding verbatim copying of that document.

7. AGGREGATION WITH INDEPENDENT WORKS

A compilation of the Document or its derivatives with other separate and independent documents or works, in or on a volume of a storage or distribution medium, is called an "aggregate" if the copyright resulting from the compilation is not used to limit the legal rights of the compilation's users beyond what the individual works permit. When the Document is included in an aggregate, this License does not apply to the other works in the aggregate which are not themselves derivative works of the Document.

If the Cover Text requirement of section 3 is applicable to these copies of the Document, then if the Document is less than one half of the entire aggregate, the Document's Cover Texts may be placed on covers that bracket the Document within the aggregate, or the electronic equivalent of covers if the Document is in electronic form. Otherwise they must appear on printed covers that bracket the whole aggregate.

8. TRANSLATION

Translation is considered a kind of modification, so you may distribute translations of the Document under the terms of section 4. Replacing Invariant Sections with translations requires special permission from their copyright holders, but you may include translations of some or all Invariant Sections in addition to the original versions of these Invariant Sections. You may include a translation of this License, and all the license notices in the Document, and any Warranty Disclaimers, provided that you also include the original English version of this License and the original versions of those notices and disclaimers. In case of a disagreement between the translation and the original version of this License or a notice or disclaimer, the original version will prevail.

If a section in the Document is Entitled "Acknowledgements", "Dedications", or "History", the requirement (section 4) to Preserve its Title (section 1) will typically require changing the actual title.

9. TERMINATION

You may not copy, modify, sublicense, or distribute the Document except as expressly provided for under this License. Any other attempt to copy, modify, sublicense or distribute the Document is void, and will automatically terminate your rights under this License. However, parties who have received copies, or rights, from you under this License will not have their licenses terminated so long as such parties remain in full compliance.

10. FUTURE REVISIONS OF THIS LICENSE

The Free Software Foundation may publish new, revised versions of the GNU Free Documentation License from time to time. Such new versions will be similar in spirit to the present version, but may differ in detail to address new problems or concerns. See <https://www.gnu.org/copyleft/>.

Each version of the License is given a distinguishing version number. If the Document specifies that a particular numbered version of this License "or any later version" applies to it, you have the option of following the terms and conditions either of that specified version or of any later version that has been published (not as a draft) by the Free Software Foundation. If the Document does not specify a version number of this License, you may choose any version ever published (not as a draft) by the Free Software Foundation.

ADDENDUM: How to use this License for your 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".
```

If you have Invariant Sections, Front-Cover Texts and Back-Cover Texts, replace the "with...Texts." line with this:

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

If you have Invariant Sections without Cover Texts, or some other combination of the three, merge those two alternatives to suit the situation.

If your document contains nontrivial examples of program code, we recommend releasing these examples in parallel under your choice of free software license, such as the GNU General Public License, to permit their use in free software.