
leandvb : Un démodulateur DVB-S logiciel simple et rapide

Copyright © 2016 pabr@pabr.org
Tous droits réservés. (All rights reserved.)

leandvb est une implémentation partielle de la norme DVB-S en C++. Il est conçu principalement pour la télévision numérique d'amateur (DATV), notamment la réception directe des signaux HamTV de la Station Spatiale Internationale.



READ THE HYPERTEXT VERSION HERE:
<http://www.pabr.org/radio/leandvb/leandvb.fr.html>

Historique des versions		
1.2	2016-09-03	Mise à jour pour github. Taux de codage. État du démodulateur. leansdrscan. leansdrcat.
1.1	2016-03-16	Aide au dépannage. Remarques sur le décodage MPEG en temps réel.
1.0	2016-02-19	Première publication.

Table des matières

1. Motivations	3
2. Projets similaires	4
3. Fonctionnalités	4
4. Limitations et problèmes identifiés	4
5. Installation	4
6. Utilisation	4
6.1. Démodulation à partir de fichiers	5
6.2. Démodulation en temps réel	5
6.3. Détection automatique des paramètres de modulation	6
6.4. Intégration avec d'autres logiciels	6
7. Performances	7
7.1. Débit	7
7.2. Latence	7
7.3. Sensibilité	7
8. Remarques sur la sécurité	8
9. Dépannage	8
9.1. Configuration	8
9.2. Gain	8
9.3. Signal	8
10. Détails d'implémentation	8
11. Développement	8
12. Perspectives	8
13. Notes sur la propriété intellectuelle	9
14. Remerciements	9
Bibliographie	9

1. Motivations

La norme DVB-S a été développée dans les années 1990 pour la diffusion de bouquets de télévision satellite numérique. Ces dernières années elle a été adoptée par la communauté des radioamateurs pour des expériences de TV numérique (DATV). Des récepteurs DVB-S grand public sont disponibles à faible coût sous la forme de boîtiers *set-top-box*, de cartes PCI et de clés USB. Malheureusement certains ne sont pas adaptés à la DATV pour les raisons suivantes:

- Leur étage d'entrée est optimisé pour un signal entre 950 MHz et 2150 MHz (transposé depuis 10.700 .. 12.750 GHz par une tête satellite) alors que la DATV se pratique aussi dans les bandes 70 cm et 13 cm (voire 2 m et 6 m). Les convertisseurs de fréquences ajoutent des coûts, de la complexité et du bruit.
- Ils sont conçus pour une mise en oeuvre aussi simple que possible, alors que les radioamateurs préfèrent avoir accès à un maximum de réglages pour optimiser la réception.
- Certains récepteurs ne supportent pas les vitesses de modulation très basses que les radioamateurs doivent utiliser pour respecter les contraintes de bande passante.
- Certains émetteurs DATV, comme le système HamVideo de l'ISS, génèrent un flux MPEG légèrement différent de ceux des chaînes grand public, et certains récepteurs refusent de le décoder.

Avec des pilotes spécifiques il est apparemment possible de syntoniser au delà des fréquences spécifiées par le constructeur, de démoduler à bas débit, de contrôler davantage de paramètres et de récupérer les paquets MPEG bruts : voir <http://www.vivadatv.org>. Mais ceci ne fonctionne qu'avec certains *chipsets*.

Un récepteur DVB-S logiciel permet de s'affranchir de ces problèmes. On trouve maintenant des récepteurs SDR pour de nombreuses bandes de fréquences avec divers compromis entre le coût, la bande passante et la sensibilité. Les récepteurs RTL-SDR couvrent les bandes 10 m, 6 m, 2 m, 70 m et 23 cm.

Un récepteur DVB-S logiciel permet par ailleurs de profiter de tous les avantages de la radio logicielle :

- Il est possible d'enregistrer un flux I/Q brut et de le démoduler plus tard. On réduit les risques d'erreur de manipulation pendant l'étape d'acquisition. C'est un avantage appréciable pour les signaux transitoires tels que ceux de l'ISS.
- On peut passer autant de temps qu'on le souhaite à ajuster les paramètres de démodulation pour minimiser le taux d'erreur final.
- On peut examiner les signaux et les filtrer numériquement avant de les démoduler, par exemple pour éliminer des signaux fantômes (*birdies*) ou corriger un écart en fréquence inattendu. Des algorithmes coûteux en temps de calcul peuvent être utilisés pour tenter de filtrer des bruits non aléatoires.
- En combinant des enregistrements I/Q cohérents de plusieurs récepteurs, on peut espérer obtenir du gain matriciel, du gain de diversité ou une meilleure directivité.
- On peut injecter un même signal numérique dans plusieurs démodulateurs logiciels pour comparer objectivement leurs performances.
- Un récepteur SDR peut servir d'analyseur de spectre rudimentaire. Ceci permet de diagnostiquer divers problèmes tels que la présence de signaux parasites.
- Un démodulateur logiciel ne devient jamais obsolète car tous les récepteurs SDR ont à peu près la même interface : configurer la fréquence centrale et la vitesse d'échantillonnage recevoir les données I/Q brutes. Au contraire, grâce aux progrès de l'industrie informatique, un démodulateur logiciel donné pourra traiter soit des débits plus importants, soit un plus grand nombre de canaux simultanément.

2. Projets similaires

gr-dvb [GRDVB] est une implémentation complète de DVB-S pour gnuradio. Je l'ai utilisé pour des expériences de DATV antérieures (voir [SOFTDATV]).

gr-dvb est très utile en tant qu'implémentation de référence et d'un point de vue pédagogique, mais il est trop lent pour démoduler les signaux DATV de l'ISS en temps réel, même sur un PC de bureau rapide. Par ailleurs il s'appuie sur toute l'infrastructure associée à gnuradio y compris Boost, SWIG et Python, ce qui est pénalisant sur des plate-formes embarquées.

leandvb est écrit en C++ simple quasiment sans aucune dépendance, et est 10 fois plus rapide sur un seul coeur que **gr-dvb** tournant sur deux coeurs. La contrepartie de cette vitesse est une sensibilité très inférieure ; pour certaines applications c'est un compromis acceptable. Plus précisément, **leandvb** n'implémente pas l'algorithme de Viterbi. Il estime les symboles par décisions dures avant d'inverser le codage convolutif.

3. Fonctionnalités

- DVB-S, QPSK, taux de codage 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8.
- Détection des signaux I/Q conjugués (pour les convertisseurs dont la fréquence locale est supérieure à celle du signal).
- Testé à faible taux d'échantillonnage (2 Msymboles/s à 2.4 Méch/s).
- Filtrage automatique des "birdies" (utile avec des récepteurs SDR bas de gamme).
- Format I/Q 8 bits non signé par défaut (compatible avec l'utilitaire `rtl_sdr`).
- Supporte aussi I/Q flottant 32 bits (compatible avec `gqrx`).

4. Limitations et problèmes identifiés

- Pas de filtrage passe-bande. En présence d'autres transmissions à proximité du signal à démoduler, il faut réduire la fréquence d'échantillonnage.
- Démodulation uniquement.
- **leandvb** ne satisfait vraisemblablement pas aux exigences de la norme DVB-S en terme de correction d'erreurs. Il n'est donc pas conforme à la norme DVB-S.

5. Installation

leandvb nécessite un compilateur C++ avec les bibliothèques standard. Il est développé sous Linux et compile vraisemblablement sur d'autres plate-formes de type UNIX ou embarquées.

```
git clone http://github.com/pabr/leansdr.git
cd leansdr/src/apps
make
```

6. Utilisation

```
Usage: leandvb [options] < IQ > TS
Demodulate DVB-S I/Q on stdin, output MPEG packets on stdout
```

Input options:

```
--u8          Input format is 8-bit unsigned (rtl_sdr, default)
--f32         Input format is 32-bit float (gqrx)
-f HZ        Input sample rate (default: 2.4e6)
--loop       Repeat (stdin must be a file)
```

Preprocessing options:

```
--anf N      Number of birdies to remove (default: 1)
--derotate HZ For use with --fd-pp, otherwise use --tune
--fd-pp NUM  Dump preprocessed IQ data to file descriptor
```

DVB-S options:

```
--sr HZ      Symbol rate (default: 2e6)
--tune HZ     Bias frequency for demodulation
--cr N/D     Code rate 1/2 .. 7/8 (default: 1/2)
```

UI options:

```
-h           Print this message
-v           Output info during startup
-d           Output debugging info
--fd-info NUM Print demodulator status to file descriptor
--gui        Show constellation and spectrum
--duration S Width of timeline plot (default: 60)
--linger     Keep GUI running after EOF
```

Testing options:

```
--awgn STDDEV Add white gaussian noise (slow)
```

N.B. : L'option **--gui** est disponible uniquement sur les plate-formes avec X11.

6.1. Démodulation à partir de fichiers

Pour un signal HamTV à 2395 MHz transposé à 397 MHz par une tête MMDS avec oscillateur local de 1998 MHz LO :

```
$ rtl_sdr -f 397000000 -s 2400000 capture.iq
$ ./leandvb --gui < capture.iq > capture.ts
$ ffplay capture.ts
```

6.2. Démodulation en temps réel

Pour une réception et un décodage en direct, il suffirait en théorie de lancer :

```
$ rtl_sdr -f 397000000 -s 2400000 - | ./leandvb --gui | vlc -
```

Cependant la diffusion de flux multimédia temps réel n'est pas si simple :

- Certains lecteurs MPEG examinent le flux d'entrée avant de commencer à décoder. Il en résulte un délai que l'on peut parfois réduire en spécifiant les formats et codecs sur la ligne de commande.
- La plupart des lecteurs MPEG cadencent l'affichage vidéo en utilisant le débit de la carte son comme horloge de référence, indépendamment du débit en entrée. Il en résulte inévitablement des artefacts sonores ou des saturations de buffers qui conduiront **leandvb** à se désynchroniser. On peut parfois remédier à ces problèmes en spécifiant manuellement une cadence d'affichage légèrement plus élevée que la valeur réelle.

Pour certains applications, par exemple la visioconférence, il faut également s'intéresser aux sources de latence.

- La norme MPEG permet de transmettre les images dans le désordre, ce qui implique de la latence. Il faut paramétrer les encodeurs pour interdire la *backward prediction*.
- L'entrelacement DVB-S introduit une latence incompressible de 2244 octets, soit 300 ms à 64 Kbit/s.
- **leandvb** effectue certains traitements par blocs de taille fixe (mais la latence qui en résulte est en principe inférieure à celle imputable à l'entrelacement).
- La plupart des décodeurs MPEG gèrent un tampon d'entrée pour que la lecture soit plus fluide.

Voici un script utilisé pour voir le flux vidéo de l'ISS en direct tout en enregistrant les échantillons I/Q :

```
$ while true; do
  rtl_sdr -g 22 -f 397000000 -s 2400000 - | tee $(date +%Y%m%d_%H%M%S%.iq) |
done
```

Parfois le décodeur détecte plus facilement le flux MPEG lorsqu'on force la mise en tampon :

```
$ ... | mplayer -cache 128 -
```

leansdrscat peut rejouer un fichier à débit constant. Ceci permet de tester si un décodeur MPEG est capable de traiter des flux temps réel.

```
$ ./leansdrscat --cbr $((2400000*16)) < capture.iq | ./leandvb --gui | mplayer -
```

6.3. Détection automatique des paramètres de modulation

leandvb a besoin de connaître la fréquence de modulation et le taux de codage DVB-S. Un outil auxiliaire, **leansdrscan**, permet d'automatiser la détection de ces paramètres.

La commande ci-dessousinstanciera **leandvb** avec six combinaisons de fréquences de modulation (250 kS/s, 500 kS/s, 1000 kS/s) et de taux de codage (1/2, 7/8) jusqu'à l'obtention d'un flux MPEG.

```
$ ./leansdrscan -v --rewind ./leandvb -f 1024000 --sr 250000,500000 --cr 1/2,7/8
```

Avec un flux temps réel, l'option **--rewind** n'est pas utile. Par ailleurs, l'option **--tune** devrait permettre de balayer plusieurs canaux à bas débit dans un flux à large bande :

```
$ rtl_sdr ... | ./leansdrscan -v ./leandvb -f 2400e3 --tune -500e3,0,500e3 --sr
```

N.B. : Il est possible que ceci ne fonctionne pas sur des bandes très chargées car **leandvb** n'effectue pas encore de filtrage passe-bande.

6.4. Intégration avec d'autres logiciels

Avec l'option **--fd-info**, **leandvb** indique l'état du démodulateur sur un canal auxiliaire.

```
$ rtl_sdr ... | ./leansdrscan ./leandvb --fd-info 2 -f 1024e3 --sr 250e3,500e3 --cr
CR 1/2
SR 250000.000000
```

```

LOCK 0
FREQ 4047
SS 66.660774
MER 19.8
LOCK 1
FREQ 4062
SS 65.118179
MER 18.7
FREQ 4047
...

```

Ceci devrait permettre d'utiliser **leandvb** comme *plugin* pour d'autres applications. Par exemple, **leandvb_tui.sh** présente l'état du démodulateur sur une ligne :

```

$ rtl_sdr ... | ./leandvb_tui.sh ./leandsdrscan ./leandvb --fd-info 2 -f 1024e3 -
[SS 68] [Offset +4047 Hz] [MER 18.7 dB] [LOCKED] [SR 250000 Hz] [FEC 1/2]

```

7. Performances

7.1. Débit

La charge CPU dépend de la fréquence d'échantillonnage, de la fréquence de modulation et, dans une moindre mesure, du taux d'erreurs à corriger. N.B. : L'option **--gui** augmente la charge CPU.

leandvb peut démoduler 2 Msymboles/s numérisée à 2,4 Méch/s en temps réel sur une tablette Intel Z3745 1.33 GHz. Ceci permet de recevoir les transmissions HamTV de l'ISS avec un dispositif portable et peu coûteux, ce qui était l'objectif initial.

leandvb fonctionne également sur les plate-formes Raspberry Pi, mais avec des débits plus faibles.

Tableau 1. Comparaison entre plate-formes

Dataset	samprate/symbrat/dur	Intel Core i7	Intel Atom Z3745	Raspberry Pi 2 Model B
gqrx_20151211_20160101	47.46M / 2M / 23	2588 KiB in 4 s	2588 KiB in 13 s	2639 KiB in 50 s

7.2. Latence

7.3. Sensibilité

leandvb peut démoduler un signal HamTV enregistré pendant un passage de l'ISS au zénith avec une antenne de 24 dBi polarisée linéairement, un convertisseur MMDS et un récepteur RTL-SDR R820T2.

leandvb a permis de recevoir le contact HamTV ARISS du 2016-05-09 avec une élévation culminant à 67° et une antenne portée à l'épaule (voir [HAMPADS]).

En revanche, lors d'un passage à 47° d'élévation par temps humide, la démodulation a été très mauvaise.

Tableau 2. Comparaison entre démodulateurs

Dataset	samprate/symbrat/dur	leandvb	gr-dvb without Vi-terbi	gr-dvb
gqrx_20151211_20160101	47.46M / 2M / 23	2588 KiB in 4 s	2579 KiB in 8 s (17 s total)	2648 KiB in 37 s (58 s total)

8. Remarques sur la sécurité

Tout composant logiciel qui traite des données d'origine tierce doit être considéré comme un risque du point de vue de la sécurité. Cette règle s'applique aussi bien aux serveurs web qu'aux récepteurs radio logiciels. En théorie, si la réception logicielle de modes numériques sophistiqués devient populaire, une transmission mal intentionnée sur une bande HF pourrait attaquer des failles logicielles dans un grand nombre de récepteurs à l'échelle mondiale.

À titre préventif, il est souhaitable de faire tourner **leandvb** avec des privilèges minimaux, sous SELinux, dans une machine virtuelle, sur du matériel dédié, etc.

9. Dépannage

Cette section illustre quelques problèmes courants.

9.1. Configuration

9.2. Gain

9.3. Signal

10. Détails d'implémentation

11. Développement

Voir <https://github.com/pabr/leandsdr>.

12. Perspectives

- Améliorer l'interpolation
- Mesurer la sensibilité
- Multi-threading
- Optimisations SIMD sur x86 et ARM
- Viterbi. Ajustement automatique de la stratégie de démodulation en fonction du CPU
- Permettre à **leandsdrscan** de lancer plusieurs démodulateurs en parallèle.
- DVB-S2
- Modulateur (pour faire des tests ; il existe déjà plusieurs modulateurs DATV logiciels)
- Plugin GQRX

- Application Android.

13. Notes sur la propriété intellectuelle

leandvb est développé principalement pour l'expérimentation non commerciale dans un contexte radioamateur. Sans entrer dans les débats sur la légitimité des brevets logiciels, quiconque envisagerait d'autres applications devrait probablement se plonger dans les considérations ci-dessous :

La norme DVB-S a été publiée initialement en 1994 sous la référence ETS 300 421. On peut espérer que tous les brevets applicables ont expiré ou expireront prochainement. Cependant, même lorsqu'une norme n'est plus couverte par des brevets, il est possible que des détails d'implémentation soient toujours protégés.

Pour construire un récepteur DVB-S logiciel complet il faut généralement ajouter un décodeur MPEG-2. La norme MPEG-2 a été finalisée vers 1995 et publiée en 1996. Cet article [http://www.osnews.com/story/24954/US_Patent_Expiration_for_MP3_MPEG-2_H_264/] estime que les derniers brevets expireront en 2018.

D'autres normes telles que DVB-T (1997), H.264 (2003), DVB-S2 (2005), DVB-T2 (2008) et HEVC (2013) sont vraisemblablement protégées par des brevets.

14. Remerciements

Edmund Tse a publié une implémentation de référence de DVB-S pour gnuradio dès 2010 ([GRDVB]), ce qui a permis de valider la faisabilité du projet.

Les premiers utilisateurs, F5OEO et K4KDR, ont fourni des enregistrements I/Q représentatifs de plusieurs types de modulateurs, de canaux de transmission et de récepteurs. Ceci a contribué à la mise au point de **leandvb**.

Bibliographie

[DVBS] *Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for 11/12 GHz satellite services* . 1997. ETSI. https://portal.etsi.org/webapp/WorkProgram/Report_WorkItem.asp?WKI_ID=5316.

[GRDVB] *Software Radio for Digital Satellite Television* . 2010. Edmund Tse. <http://www.edmundtse.com/wp-content/uploads/2009/04/treatise.pdf>.

[SOFTDATV] *Réception logicielle des transmissions vidéo numériques de la Station Spatiale Internationale* . <http://www.pabr.org/radio/softdatv/softdatv.fr.html> .

[HAMPADS] *Une station de réception portative pour les satellites amateurs* . <http://www.pabr.org/radio/hampads/hampads.fr.html> .