

High-Tune: RenDeRer

V. Eymet¹, V. Forest¹, N. Villefranque²
¹|Mésos|Star>, ²CNRM

4 décembre 2019



High-Tune: RenDeRer (htrdr) - Aperçu

Moteur de rendu Monte Carlo d'une scène nuageuse

- ▶ C ANSI [Ker88]
- ▶ GNU/Linux 64-bits

Licence libre [GPL]

- ▶ S'appropriier les outils

Interface en ligne de commande

Programme test

Pensée UNIX

Write programs that do one thing and do it well

- ▶ Séparer les idées

Write programs that work together

- ▶ Composition

Write programs that handle text streams...

- ▶ ... because that is a universal interface

Pensée UNIX

Write programs that do one thing and do it well

- ▶ Séparer les idées

Write programs that work together

- ▶ Composition

Write programs that handle text streams...

- ▶ ... because that is a universal interface

When in doubt, use brute force (K. Thompson)

- ▶ Monte Carlo !

High-Tune: RenDeRer - dépendances

Données

- ▶ High-Tune: Gaz Optical Properties (`htgop`)
- ▶ High-Tune: Cloud Properties (`htcp`)
- ▶ High-Tune: Mie (`htmie`)
- ▶ Star-3DAW (`s3daw`)

Traitement

- ▶ Star-VoXel (`svx`)
- ▶ Star-3D (`s3d`)
- ▶ Star-ScatteringFunctions (`ssf`)
- ▶ Star-SamPling (`ssp`)

Données d'entrée/sortie

Données d'entrée

- ▶ Profil atmosphérique 1D
- ▶ Champs nuageux 3D
- ▶ Propriétés optiques de l'eau liquide
- ▶ Géométrie & réflectivité du sol

Données en sortie

- ▶ Estimations Monte-carlo par pixel de l'image

L'atmosphère

Propriétés optiques RRTM-G calculées pour un profil 1D de T , P , q

- ▶ Moulinette sur N concentrations en vapeur d'eau pour prendre en compte la variabilité horizontale de q
- ▶ Coefficient d'absorption (visible & infra rouge)
- ▶ Coefficient de diffusion (visible)

Format de fichier “High-Tune: Gas Optical Properties” (`htgop`)

- ▶ Format texte
- ▶ Stocke le profil atmosphérique et ses propriétés optiques

Bibliothèque `htgop`

- ▶ <https://gitlab.com/meso-star/htgop.git>
- ▶ Charge en mémoire un fichier `htgop`

Atmosphère en k-distributions & High-Tune: RenDeRer

Calcul des k-distributions avec ecRad [HB16]

Variations locales du contenu en vapeur d'eau

- tabulation des k-distributions (pour toute la colonne) en fonction du rapport de mélange x_{H_2O} .

Interpolation à la volée des k-distributions en fonction de x_{H_2O}

Champs nuageux 3D

Données par maille

- ▶ Rapport de mélange de vapeur d'eau en kg d'eau par m³ d'air sec
- ▶ Rapport de mélange d'eau liquide en suspension en kg d'eau par m³ d'air sec
- ▶ Pression en Pascal
- ▶ Temperature en Kelvin

Format de fichier "High-Tune: Cloud Properties" (htcp)

- ▶ Format binaire

Bibliothèque htcp

- ▶ <https://gitlab.com/meso-star/htcp.git>
- ▶ Données *out-of-core*

Champs nuageux 3D & Simulations LES [BCC⁺02]

Données LES [LSA⁺97, LCM⁺18]

- Stockées dans un fichier NetCDF

Programme les2htcp

- <https://gitlab.com/meso-star/les2htcp>
- Conversion NetCDF → htcp

Propriétés optiques de l'eau liquide

Évaluées par un code de Mie [MTL02]

- ▶ Discrétisation sur le spectre visible/infra rouge
- ▶ Intégration sur une distribution de tailles de goutte. Dans “High-Tune: Starter Pack” distribution lognormale de rayon effectif $10\text{ }\mu\text{m}$ et écart type $0.1\text{ }\mu\text{m}$.

Données par longueur d'onde

- ▶ Section efficace d'absorption massique
- ▶ Section efficace de diffusion massique
- ▶ Paramètre d'asymétrie de la fonction de phase d'Henyey-Greenstein

Bibliothèque `htmie`

- ▶ <https://gitlab.com/meso-star/htmie.git>
- ▶ Charge les propriétés optiques sauvées dans un fichier NetCDF “High-Tune: Mie”

Données du sol

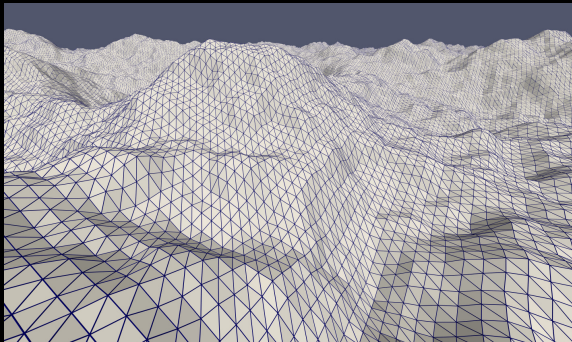
Une géométrie quelconque au format obj

Propriété optiques constantes et grises

- ▶ Surface lambertienne
- ▶ Réflectivité définie en option de la ligne de commande

```
# List of vertices
v 0 0 367.196
v 19.5312 0 353.952
v 39.0625 0 347.371
v 58.5938 0 345.122
v 78.125 0 340.736
...
v 9980.47 10000 390.285
v 10000 10000 367.196

# List of triangles
f 1 514 2
f 2 514 515
f 2 515 3
f 3 515 516
...
f 262655 263168 262656
f 262656 263168 263169
```



Données de l'image en sortie

Estimations par pixel : moyennes & écart types

- ▶ Luminance intégrée par composante colorimétrique (XYZ)
- ▶ Temps par réalisation

Format de Fichier `hdrdr-image`

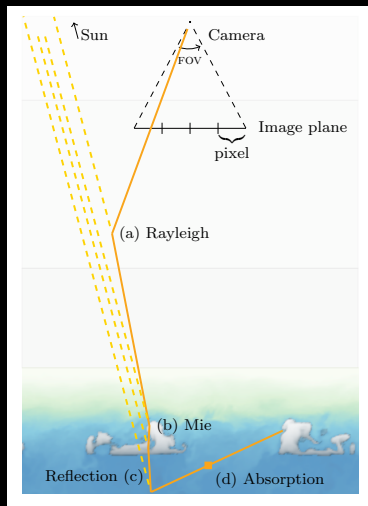
- ▶ Format texte

High-Tune: RenDeRer

Algorithme de suivi de chemins à rebours [VFC⁺19]

Parallélisation mixte de N Monte Carlo

- ▶ Mémoire partagée : OpenMP
- ▶ Mémoire distribuée : OpenMPI



D'un signal spectral de luminance à une couleur

Rendu dans l'espace
colorimétrique XYZ [CIE31]

$$X = \int_0^{+\infty} \bar{x}(\lambda) L_\lambda(\vec{x}, -\vec{u}) d\lambda \quad (1)$$

$$Y = \int_0^{+\infty} \bar{y}(\lambda) L_\lambda(\vec{x}, -\vec{u}) d\lambda \quad (2)$$

$$Z = \int_0^{+\infty} \bar{z}(\lambda) L_\lambda(\vec{x}, -\vec{u}) d\lambda \quad (3)$$

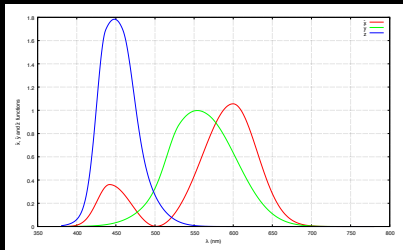


Figure: Fonctions $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$ et $\bar{z}(\lambda)$

Conversion XYZ $\rightarrow$ sRGB : “High-Tune: Post-Process”

- <https://gitlab.com/meso-star/http.git>
- Correction de ton [Hab10]
- Conversion XYZ $\rightarrow$ sRGB : $C_{sRGB} = [M] \cdot C_{XYZ}$
- Correction gamma

Au-delà du code

Documentation de référence

- ▶ Page de manuel (`man`)

Site internet

- ▶ `https://www.meso-star.com/projects/high-tune/high-tune.html`

Distribution basée sources

- ▶ `https://gitlab.com/meso-star/star-engine/tree/high_tune`

High-Tune: Starter Pack

Les perspectives de htrdr

Remplacer Henyey-Greenstein par Mie

Réduire le temps de mise en donnée

Tester la parallélisation sur super ordinateur

Vers un algorithme Monte Carlo *out-of-core*

etc.

MCG-RAD

- ▶ LMD, IRIT, Laplace, |MésolStar>

MODRADURB

- ▶ CNRM, |MésolStar>, Laplace, LMA

ASTORIA

- ▶ CERFACS, CORIA, ONERA, RAPSODEE



A.R. Brown, R.T Cederwall, A. Chlond, P.G. Duynkerke, J.-C. Golaz, M. Khairoutdinov, D. C. Lewellen, A. P. Lock, M. K. MacVean, C.-H. Moeng, R. A. J. Neggers, A. P. Siebesma, and B. Stevens.

Large-eddy simulation of the diurnal cycle of shallow cumulus convection over land.

Q. J. R. Meteorol. Soc., 128:1075–1093, 2002.



Commission Internationale de l'Éclairage Proceedings.
Cambridge University Press, Cambridge, 1931.



GNU General Public License.

<https://www.gnu.org/licences/gpl.html>.



John Hable.

Filmic Tonemapping Operators.

filmicworlds.com/blog/filmic-tonemapping-operators,
may 2010.



R.J. Hogan and A. Bozzo.

A new radiation scheme for the IFS.



Brian W. Kernighan.

The C Programming Language.

Prentice Hall Professional Technical Reference, 2nd edition, 1988.



C. Lac, J.-P. Chaboureau, V. Masson, J.-P. Pinty, P. Tulet, J. Escobar, M. Leriche, C. Barthe, B. Aouizerats, C. Augros, P. Aumond, F. Auguste, P. Bechtold, S. Berthet, S. Bielli, F. Bosseur, O. Caumont, J.-M. Cohard, J. Colin, F. Couvreux, J. Cuxart, G. Delautier, T. Dauhut, V. Ducrocq, J.-B. Filippi, D. Gazen, O. Geoffroy, F. Gheusi, R. Honnert, J.-P. Lafore, C. Lebeaupin Brossier, Q. Libois, T. Lunet, C. Mari, T. Maric, P. Mascart, M. Mogé, G. Molinié, O. Nuissier, F. Pantillon, P. Peyrillé, J. Pergaud, E. Perraud, J. Pianezze, J.-L. Redelsperger, D. Ricard, E. Richard, S. Riette, Q. Rodier, R. Schoetter, L. Seyfried, J. Stein, K. Suhre, M. Taufour, O. Thouron, S. Turner, A. Verrelle, B. Vié, F. Visentin, V. Vionnet, and P. Wautelet.

Overview of the Meso-NH model version 5.4 and its applications.

Geoscientific Model Development, 11(5):1929–1969, 2018.



J. P. Lafore, J. Stein, N. Asencio, P. Bougeault, V. Ducrocq, J. Duron, C. Fischer, P. Héreil, P. Mascart, V. Masson, J. P. Pinty, J. L. Redelsperger, E. Richard, and J. Vilà-Guerau de Arellano.

The Meso-NH Atmospheric Simulation System. Part I: adiabatic formulation and control simulations.

Annales Geophysicae, 16(1):90–109, Dec 1997.



M. I. Mishchenko, L. D. Travis, and A. A. Lacis.

Scattering, Absorption, and Emission of Light by Small Particles.

Cambridge University Press, Cambridge, 2002.



Najda Villefranque, Richard Fournier, Fleur Couvreur, Stéphane Blanco, Céline Cornet, Vincent Eymet, Vincent Forest, and Jean-Marc Tregan.

A path-tracing monte carlo library for 3-d radiative transfer in highly resolved cloudy atmospheres.

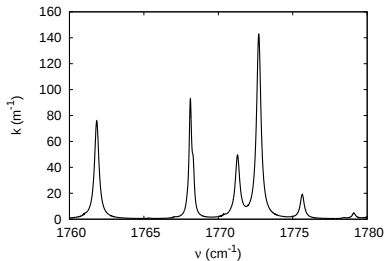
Journal of Advances in Modeling Earth Systems, 11(8):2449–2473, 2019.

L'atmosphère - modèle spectral en k-distributions (1/4)

On souhaite réaliser l'intégration spectrale sur un intervalle $[\nu_{min}, \nu_{max}]$ d'une fonction de ν :

$$\frac{1}{\nu_{max} - \nu_{min}} \int_{\nu_{min}}^{\nu_{max}} A(\nu) d\nu \quad (4)$$

Avec A la quantité radiative (que l'on sait estimer pour chaque valeur de ν).

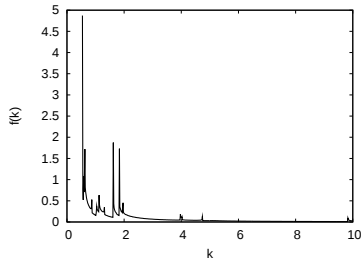
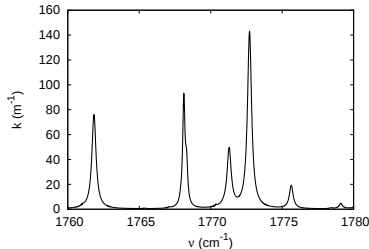


L'atmosphère - modèle spectral en k-distributions (2/4)

$$\frac{1}{\nu_{max} - \nu_{min}} \int_{\nu_{min}}^{\nu_{max}} A(\nu) d\nu = \int_0^{+\infty} A(k) f(k) dk \quad (5)$$

$f(k)$: fonction de distribution de $k(\nu)$

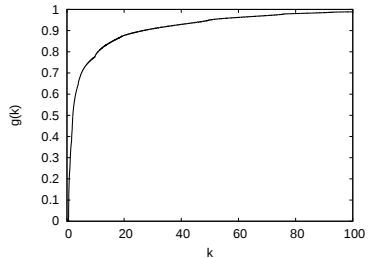
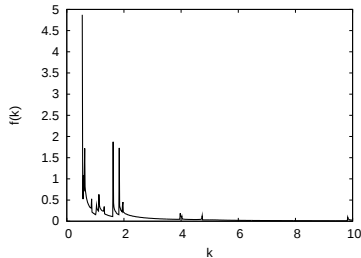
$f(k)dk$: fraction de $\nu_{max}-\nu_{min}$ où $k \in [k; k + dk]$



L'atmosphère - modèle spectral en k-distributions (3/4)

$$\frac{1}{\nu_{max} - \nu_{min}} \int_{\nu_{min}}^{\nu_{max}} A(\nu) d\nu = \int_0^{+\infty} A(k) f(k) dk = \int_0^1 A(k(g)) dg \quad (6)$$

Avec $g(k) = \int_0^k f(k') dk'$ la cumulée de $f(k)$



L'atmosphère - modèle spectral en k-distributions (4/4)

$$\frac{1}{\nu_{\max} - \nu_{\min}} \int_{\nu_{\min}}^{\nu_{\max}} A(\nu) d\nu = \int_0^1 A(k(g)) dg \approx \sum_{i=1}^N A(k(g_i)) \omega_i \quad (7)$$

g_i : abscisses de quadrature

ω_i : poids de quadrature

$k(g_i) \equiv k_i$: coefficients de la k-distribution

Avantage

Au lieu de réaliser des milliers de calculs radiatifs, on n'a besoin que de $N \approx 10$ calculs par intervalle de quelques dizaines de cm^{-1} .

Inconvénient

introduit une erreur de quelques pourcent en milieu hétérogène : lorsque T ou P varie, le spectre $k(\nu)$ change et une valeur de g_i/k_i ne correspond plus aux mêmes fréquences. On fait donc l'hypothèse que le spectre $k(\nu)$ est homothétique lorsque les conditions varient, de façon à ce qu'un calcul de transfert pour un k_i donné soit équivalent à un calcul monochromatique (Hypothèse "correlated-k", plus ou moins bien vérifiée).

Utiliser

High-Tune: RenDeRer

Installation

Installation de High-Tune: RenDeRer

```
~ $ git clone -b High-Tune-0.1.0-r1 \  
    https://gitlab.com/meso-star/star-engine.git High-Tune-0.1.0-r1  
~ $ mkdir High-Tune-0.1.0-r1/build; cd High-Tune-0.1.0-r1/build  
~/High-Tune-0.1.0-r1/build $ cmake ../cmake  
~/High-Tune-0.1.0-r1/build $ make
```

Installation du High-Tune: Starter Pack

```
~ $ wget https://www.meso-star.com/projects/high-tune/downloads/\  
    High-Tune-Starter-Pack-0.1.1.tar.gz  
~ $ tar xzvf High-Tune-Starter-Pack-0.1.1.tar.gz
```

Préparation du TP

Enregistrement de l'installation dans le shell GNU/Bash courant

```
~ $ source ~/High-Tune-0.1.0-r1/local/etc/high_tune.profile
~ $ htrdr -h
~ $ man htrdr
~ $ export HTSPK=~/High-Tune-Starter-Pack-0.1.1
```

Création du répertoire de travail

```
~ $ mkdir TP
~ $ cd TP
~/TP $ echo "Hello, world!"
```

Rendu ciel clair

Premier rendu

```
~/TP $ htrdr -v \  
-a $HTSPK/ecrad_opt_prop.txt \  
-m $HTSPK/Mie_LUT_Cloud.nc \  
-g $HTSPK/models/plane.obj -R \  
-i def=640x480:spp=128 \  
-C pos=0,0,100:tgt=0,1,100 \  
-o clear_sky.txt
```

Visualisation de l'image

```
~/TP $ http -h  
~/TP $ man http  
~/TP $ http clear_sky.txt | display -  
~/TP $ http -o clear_sky.ppm clear_sky.txt  
~/TP $ display clear_sky.ppm  
~/TP $ http -e 0.7 -o clear_sky_0.7.ppm clear_sky.txt  
~/TP $ display clear_sky.ppm clear_sky_0.7.ppm
```

Changer la position du soleil

```
~/TP $ htrdr -v \  
-a $HTSPK/ecrad_opt_prop.txt \  
-m $HTSPK/Mie_LUT_Cloud.nc \  
-g $HTSPK/models/plane.obj -R \  
-i def=640x480:spp=128 \  
-C pos=0,0,100:tgt=0,1,100 \  
-o clear_sky.txt -f \  
-D 90,20  
  
~/TP $ http clear_sky.txt | display -
```

Modifier la caméra

```
~/TP $ htrdr -v \  
-a $HTSPK/ecrad_opt_prop.txt \  
-m $HTSPK/Mie_LUT_Cloud.nc \  
-g $HTSPK/models/plane.obj -R \  
-i def=640x480:spp=128 \  
-C pos=0,0,100:tgt=0,1,100.5:up=0,0,1:fov=60 \  
-o clear_sky.txt -f \  
-D 90,20
```

```
~/TP $ http clear_sky.txt | display -
```

Rendu d'un champ nuageux

```
~/TP $ htrdr -v \  
-a $HTSPK/ecrad_opt_prop.txt \  
-m $HTSPK/Mie_LUT_Cloud.nc \  
-g $HTSPK/models/plane.obj -R \  
-i def=640x480:spp=4 \  
-C pos=0,0,100:tgt=0,1,100.5:up=0,0,1:fov=60 \  
-o sky_DZVAR.txt \  
-D 90,20 \  
-c $HTSPK/clouds/DZVAR.1.ARM CU.008.dia KCL.htcp  
  
~/TP $ http sky_DZVAR.txt | display -
```

Répéter les nuages à l'infini

```
~/TP $ htrdr -v \  
-a $HTSPK/ecrad_opt_prop.txt \  
-m $HTSPK/Mie_LUT_Cloud.nc \  
-g $HTSPK/models/plane.obj -R \  
-i def=640x480:spp=4 \  
-C pos=0,0,100:tgt=0,1,100.5:up=0,0,1:fov=60 \  
-o sky_DZVAR.txt -f \  
-D 90,20 \  
-c $HTSPK/clouds/DZVAR.1.ARM CU.008.dia KCL.htcp -r  
  
~/TP $ http sky_DZVAR.txt | display -
```

Sortir les grilles accélératrices

```
~/TP $ htrdr -v \  
-a $HTSPK/ecrad_opt_prop.txt \  
-m $HTSPK/Mie_LUT_Cloud.nc \  
-g $HTSPK/models/plane.obj \  
-c $HTSPK/clouds/DZVAR.1.ARM CU.008.dia KCL.htcp \  
-o grids.txt \  
-d
```

```
~/TP $ csplit \  
-f cloud_grid_ \  
-b %02d.vtk \  
-z \  
--suppress-matched \  
grids.txt \  
/^---$/ {*}
```

```
~/TP $ paraview cloud_grid_11.vtk
```

Modifier le critère de construction des grilles accélératrices

```
~/TP $ htrdr -v \  
-a $HTSPK/ecrad_opt_prop.txt \  
-m $HTSPK/Mie_LUT_Cloud.nc \  
-g $HTSPK/models/plane.obj -R \  
-i def=640x480:spp=4 \  
-C pos=0,0,100:tgt=0,1,100.5:up=0,0,1:fov=60 \  
-o sky_DZVAR_0.1.txt \  
-D 90,20 \  
-c $HTSPK/clouds/DZVAR.1.ARM CU.008.diaKCL.htcp -r \  
-T 0.01
```

```
~/TP $ http sky_DZVAR_0.01.txt | display -
```

Modifier le sol

```
~/TP $ htrdr -v \  
-a $HTSPK/ecrad_opt_prop.txt \  
-m $HTSPK/Mie_LUT_Cloud.nc \  
-g $HTSPK/models/mountain.obj -R -e 0.7 \  
-i def=640x480:spp=32 \  
-C pos=0,0,600:tgt=0,1,600.1:up=0,0,1:fov=60 \  
-o sky_DZVAR_mountain.txt \  
-D 90,60 \  
-c $HTSPK/clouds/DZVAR.1.ARM CU.008.diaKCL.htcp -r
```

```
~/TP $ http sky_DZVAR_mountain.txt | display -
```

High-Tune: Starter Pack - le script ht-run.sh

Script Bash qui génère une ligne de commande htrdr à partir d'un fichier d'entrée décrivant la scène à rendre

```
~/TP $ cat $HTSPK/scenes/DZVAR2
```

```
~/TP $ cat $HTSPK/ht-run.sh | more
```

```
~/TP $ bash $HTSPK/ht-run.sh $HTSPK/scenes/DZVAR2
```

```
~/TP $ http DZVAR_1280x720x256.txt | display -
```