

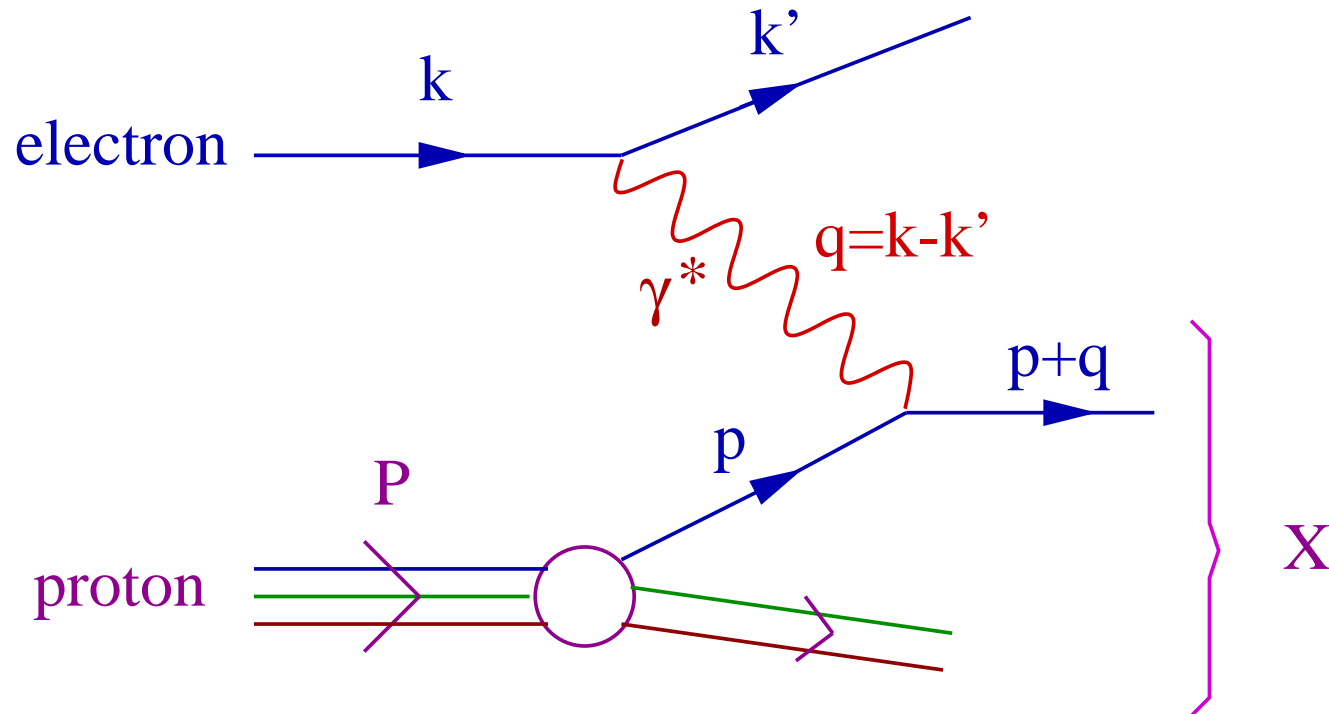
# La saturation en QCD à haute énergie.

*Journées de Rencontre Jeunes Chercheurs 2007*

Guillaume Beuf  
SPhT, CEA Saclay

- Introduction: Diffusion inélastique profonde.
- La saturation à haute énergie.
- Corrections aux équations de base de la saturation: généralités et contributions personnelles.

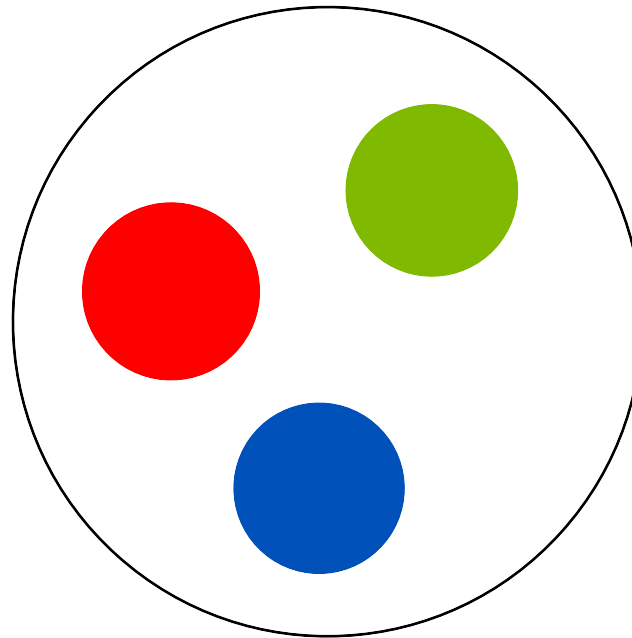

# Diffusion inelastique profonde (DIS)



Sous-processus: collision photon virtuel - proton.

- Virtualité du photon:  $Q^2 = -q^2$
- Variable de Bjorken:  $x_B = \frac{Q^2}{2P \cdot q} \simeq \frac{Q^2}{M_X^2 + Q^2}$ ,  
ou Rapidité totale  $Y = \log 1/x_B$

$1/Q$



$\gamma^*$ : sonde de résolution  $1/Q$  dans le plan transverse.

## Introduction

- DIS
- Evolution DGLAP
- Evolution BFKL
- Dipoles
- Problèmes de BFKL

## La saturation

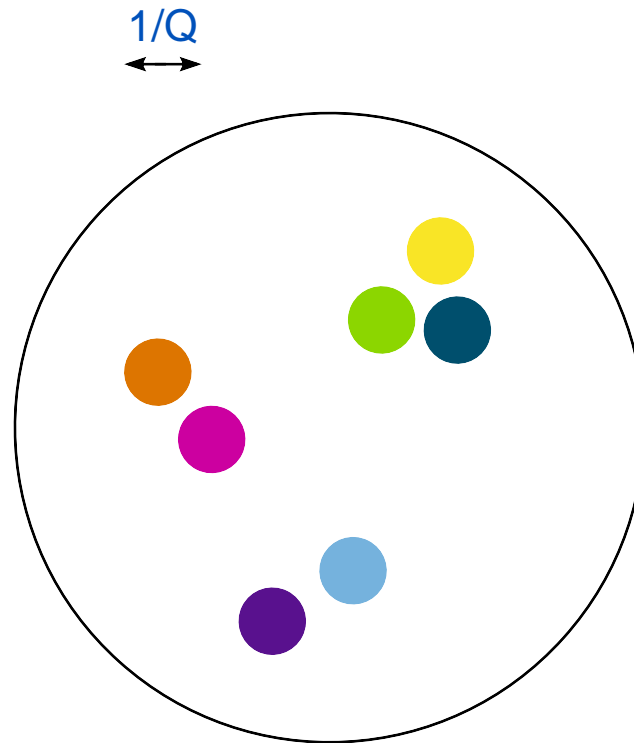
Au delà des équations B/JIMWLK

## Introduction

- DIS
- Evolution DGLAP
- Evolution BFKL
- Dipoles
- Problèmes de BFKL

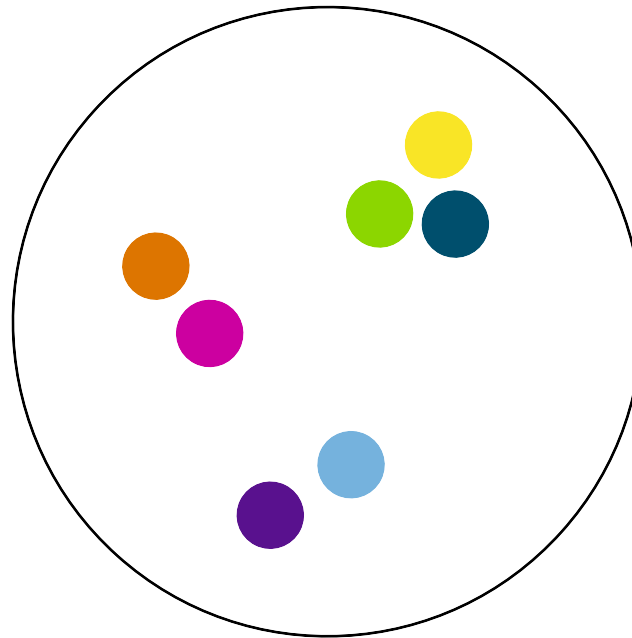
## La saturation

Au delà des équations B/JIMWLK



Augmentation de  $Q^2$ : dévoile la structure des partons dans le plan transverse.

⇒ système de plus en plus dilué.

$1/Q$   
↔

Equation DGLAP: évolution des distributions de partons, avec l'échelle d'impulsion  $Q$  dans le plan transverse.

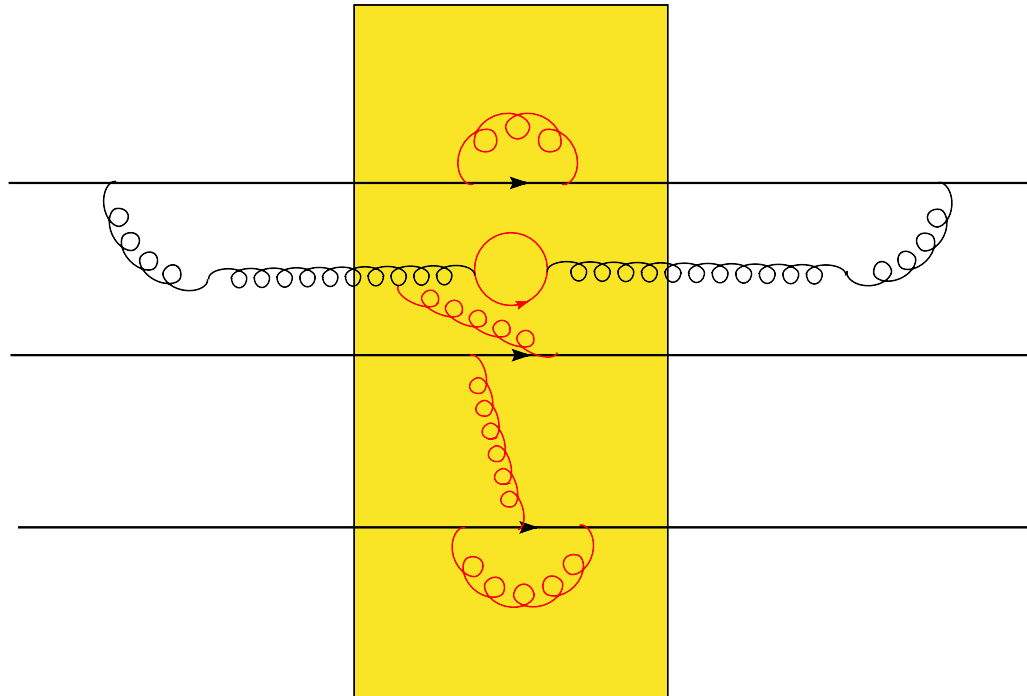
Gribov, Lipatov (1972), Dokshitzer (1977), Altarelli, Parisi (1977)

## Introduction

- DIS
- Evolution DGLAP
- Evolution BFKL
- Dipoles
- Problèmes de BFKL

## La saturation

Au delà des équations B/JIMWLK



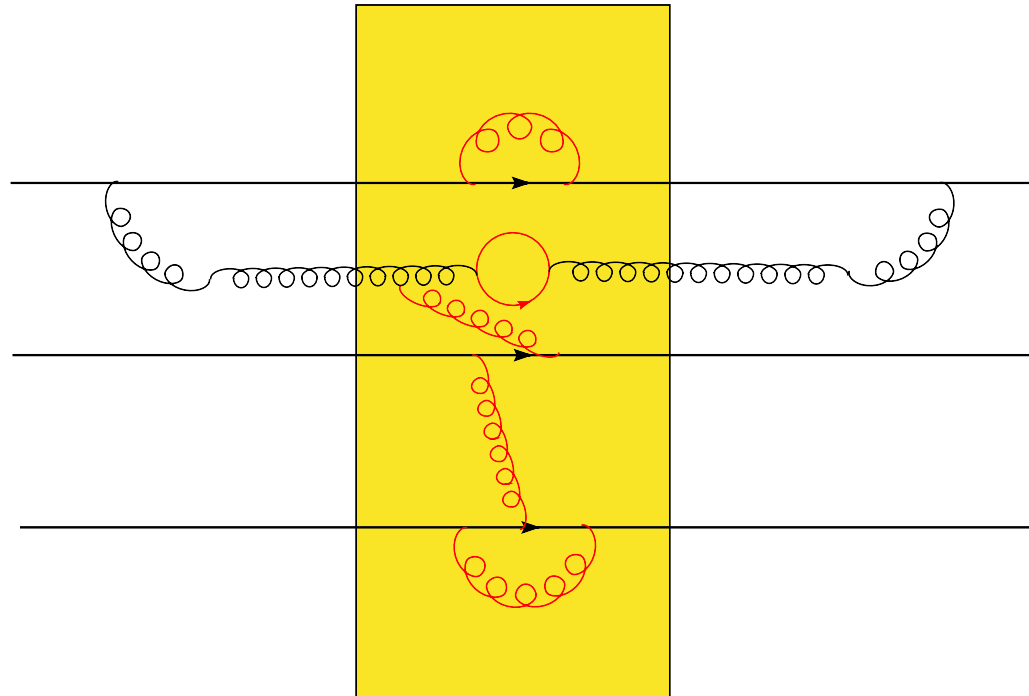
Partons: durée de vie plus longue que la résolution temporelle de la sonde  $\gamma^*$ .

## Introduction

- DIS
- Evolution DGLAP
- Evolution BFKL
- Dipoles
- Problèmes de BFKL

## La saturation

Au delà des équations B/JIMWLK



Partons: durée de vie plus longue que la résolution temporelle de la sonde  $\gamma^*$ .

Augmentation de  $Y$ , à  $Q^2$  fixé  $\Leftrightarrow$  Boost du proton.

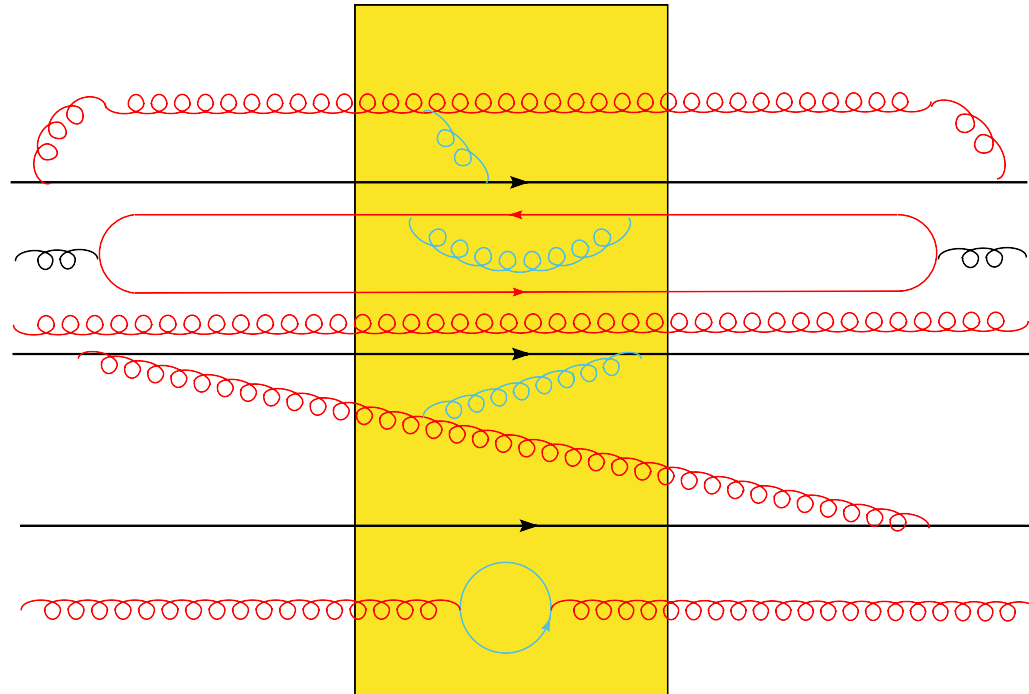


## Introduction

- DIS
- Evolution DGLAP
- Evolution BFKL
- Dipoles
- Problèmes de BFKL

## La saturation

Au delà des équations B/JIMWLK



Boost du proton  $\Rightarrow$  dilatation de la durée de vie des fluctuations.

La sonde  $\gamma^*$  résoud plus de partons, de taille transverse typique  $1/Q$ .

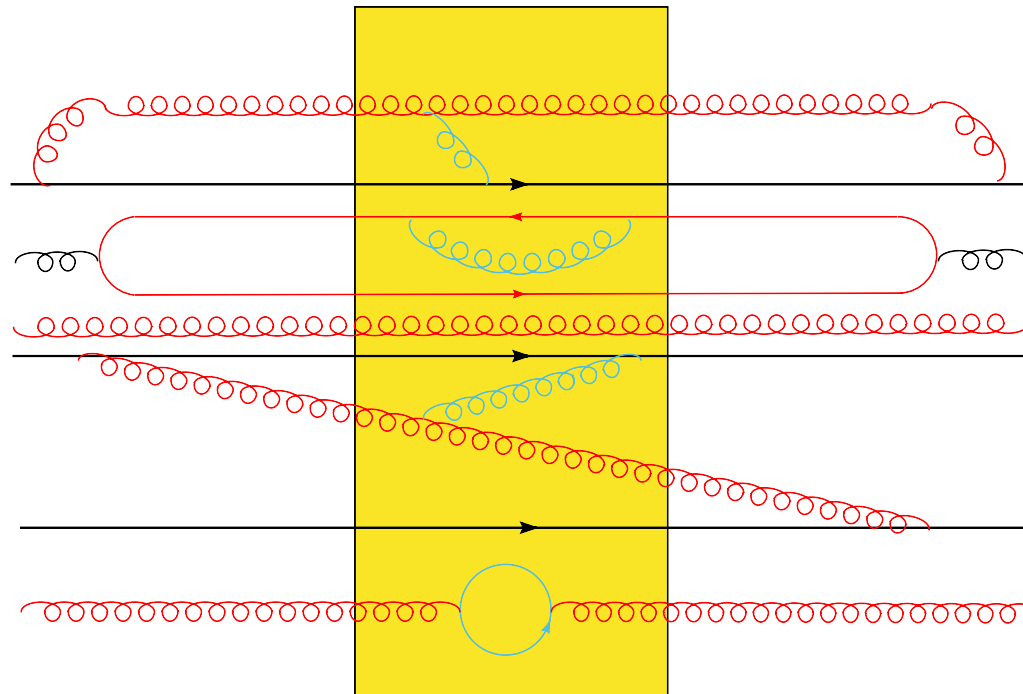
$\Rightarrow$  Proton de plus en plus dense.

## Introduction

- DIS
- Evolution DGLAP
- Evolution BFKL
- Dipoles
- Problèmes de BFKL

## La saturation

Au delà des équations B/JIMWLK



Equation BFKL: évolution des distributions de partons, avec la rapidité  $Y$ .

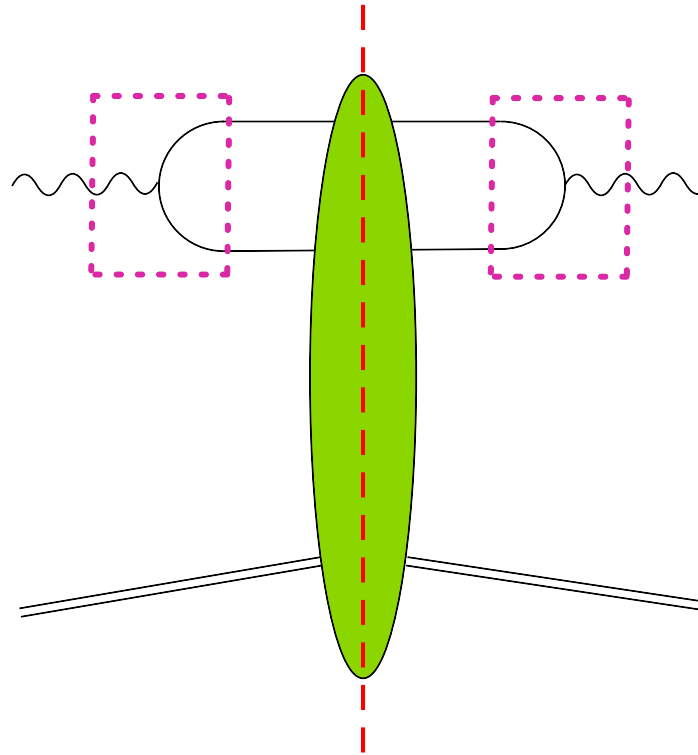
Balitsky, Fadin, Kuraev, Lipatov (1975-78)

## Introduction

- DIS
- Evolution DGLAP
- Evolution BFKL
- Dipoles
- Problèmes de BFKL

## La saturation

Au delà des équations B/JIMWLK



$$\sigma^{\gamma^* p}(Y, Q^2) = 2 \int \frac{d^2 \mathbf{r}}{(2\pi)^2} \int_0^1 dz |\Psi(z, \mathbf{r}, Q^2)|^2 \int d^2 \mathbf{b} N(\mathbf{r}, \mathbf{b}, Y)$$

Avec une taille de dipole  $|\mathbf{r}| \sim 1/Q$ .

# Problèmes de l'équation BFKL

## Introduction

- DIS
- Evolution DGLAP
- Evolution BFKL
- Dipoles
- Problèmes de BFKL

## La saturation

Au delà des équations B/JIMWLK

$$\text{BFKL} \Rightarrow \sigma^{\gamma^* p}(Y, Q^2) \propto e^{4 \ln 2 \bar{\alpha} Y}, \text{ avec } \bar{\alpha} \equiv \frac{N_c}{\pi} \alpha_s$$

Borne de Froissart:  $\sigma(Y, Q^2) \propto Y^2$  au plus.

Froissart (1961)

→ BFKL viole l'unitarité.

# Problèmes de l'équation BFKL

## Introduction

- DIS
- Evolution DGLAP
- Evolution BFKL
- Dipoles
- Problèmes de BFKL

## La saturation

Au delà des équations B/JIMWLK

BFKL  $\Rightarrow \sigma^{\gamma^* p}(Y, Q^2) \propto e^{4 \ln 2 \bar{\alpha} Y}$ , avec  $\bar{\alpha} \equiv \frac{N_c}{\pi} \alpha_s$

Borne de Froissart:  $\sigma(Y, Q^2) \propto Y^2$  au plus.

Froissart (1961)

$\rightarrow$  BFKL viole l'unitarité.

Linéarité de BFKL: régime dilué.

Dans le regime **dense**, l'évolution doit être **non linéaire**.

Gribov, Levin, Ryskin (1983)

- Evolution du dipole
- Equivalence
- Loi d'échelle géométrique
- Diagramme des phases
- Equation BK
- Universalité

Pour étudier l'évolution de  $N(\mathbf{r}, \mathbf{b}, Y)$  avec  $Y$ , deux stratégies sont possibles:

- Etudier directement l'évolution du contenu du proton lors de boosts successifs, indépendamment du projectile.  
→ équation **JIMWLK**.

Jalilian-Marian, Iancu, McLerran, Weigert, Leonidov, Kovner,  
... (1997-2002)

- Etudier l'évolution de  $N(\mathbf{r}, \mathbf{b}, Y)$  lors de boosts du dipole.

Balitsky (1996)

Dans les deux cas, on doit moyenner sur l'état du proton cible:

$$N(\mathbf{r}, \mathbf{b}, Y) = \langle T(\mathbf{r}, \mathbf{b}) \rangle_Y$$

- Méthodes
- Evolution du dipole
- Equivalence
- Loi d'échelle géométrique
- Diagramme des phases
- Equation BK
- Universalité

**2ème stratégie:** effectuer un boost  $dY$  sur le dipole.

Le dipole émet un gluon mou avec probabilité  $dY P_g$  lors du boost, et l'amplitude s'écrit alors formellement:

$$T_{q\bar{q}}(Y + dY) = (1 - dY P_g) \otimes T_{q\bar{q}}(Y) + dY P_g \otimes T_{q\bar{q}g}(Y)$$

- Méthodes
- Evolution du dipole
- Equivalence
- Loi d'échelle géométrique
- Diagramme des phases
- Equation BK
- Universalité

2ème stratégie: effectuer un boost  $dY$  sur le dipole.

Le dipole émet un gluon mou avec probabilité  $dY P_g$  lors du boost.

Avec un réarrangement des matrices de couleur:  $q\bar{q}g \rightarrow 2$  dipoles.

$$\partial_Y \langle T(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \rangle_Y = \bar{\alpha} \int \frac{d^2 z}{2\pi} \frac{(\mathbf{x} - \mathbf{y})^2}{(\mathbf{x} - \mathbf{z})^2 (\mathbf{z} - \mathbf{y})^2} \left[ \langle T(\mathbf{x}, \mathbf{z}) \rangle_Y + \langle T(\mathbf{z}, \mathbf{y}) \rangle_Y - \langle T(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \rangle_Y - \langle T(\mathbf{x}, \mathbf{z}) T(\mathbf{z}, \mathbf{y}) \rangle_Y \right]$$

Balitsky (1996)



- Méthodes
- Evolution du dipole
- Equivalence
- Loi d'échelle géométrique
- Diagramme des phases
- Equation BK
- Universalité

$$\partial_Y \langle T(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \rangle_Y = \bar{\alpha} \int \frac{d^2 z}{2\pi} \frac{(\mathbf{x} - \mathbf{y})^2}{(\mathbf{x} - \mathbf{z})^2 (\mathbf{z} - \mathbf{y})^2} \left[ \langle T(\mathbf{x}, \mathbf{z}) \rangle_Y \right. \\ \left. + \langle T(\mathbf{z}, \mathbf{y}) \rangle_Y - \langle T(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \rangle_Y - \langle T(\mathbf{x}, \mathbf{z}) T(\mathbf{z}, \mathbf{y}) \rangle_Y \right]$$

Contient l'équation BFKL en terme de dipoles, et un **nouveau terme nonlinéaire**, qui évite le double comptage, quand les deux dipoles "enfants" diffusent simultanément.

→ Ralentissement de la croissance de la section efficace grâce aux **diffusions multiples**.

- Méthodes
- Evolution du dipole
- Equivalence
- Loi d'échelle géométrique
- Diagramme des phases
- Equation BK
- Universalité

L'équation n'est pas fermée: on doit calculer, de la même manière, l'évolution de l'amplitude de diffusion de paires de dipoles:

$$\partial_Y \langle TT \rangle_Y = K_1 \otimes \langle TT \rangle_Y - K_2 \otimes \langle TTT \rangle_Y + \frac{1}{N_c^2} K_3 \otimes (\langle T \rangle_Y - \langle M \rangle_Y)$$

$\langle M \rangle_Y$  est l'amplitude de diffusion d'un sextupole de couleur.  
 → hiérarchie infinie d'équations pour les corrélateurs d'amplitudes de dipoles et autres multipoles.

Balitsky (1996)

- Méthodes
- Evolution du dipole
- **Equivalence**
- Loi d'échelle géométrique
- Diagramme des phases
- Equation BK
- Universalité

Etude dans 2 référentiels différents  $\Rightarrow$  2 formalismes équivalents, mais avec une interprétation différente de la **saturation**:

- Dans l'équation JIMWLK : radiation de nouveaux gluons défavorisée par la grande densité de la cible.
- Dans la hiérarchie de Balitsky : diffusion multiple.

- Méthodes
- Evolution du dipole
- **Equivalence**
- Loi d'échelle géométrique
- Diagramme des phases
- Equation BK
- Universalité

Etude dans 2 référentiels différents  $\Rightarrow$  2 formalismes équivalents, mais avec une interprétation différente de la **saturation**:

- **Dans l'équation JIMWLK** : radiation de nouveaux gluons défavorisée par la grande densité de la cible.
- **Dans la hiérarchie de Balitsky** : diffusion multiple.

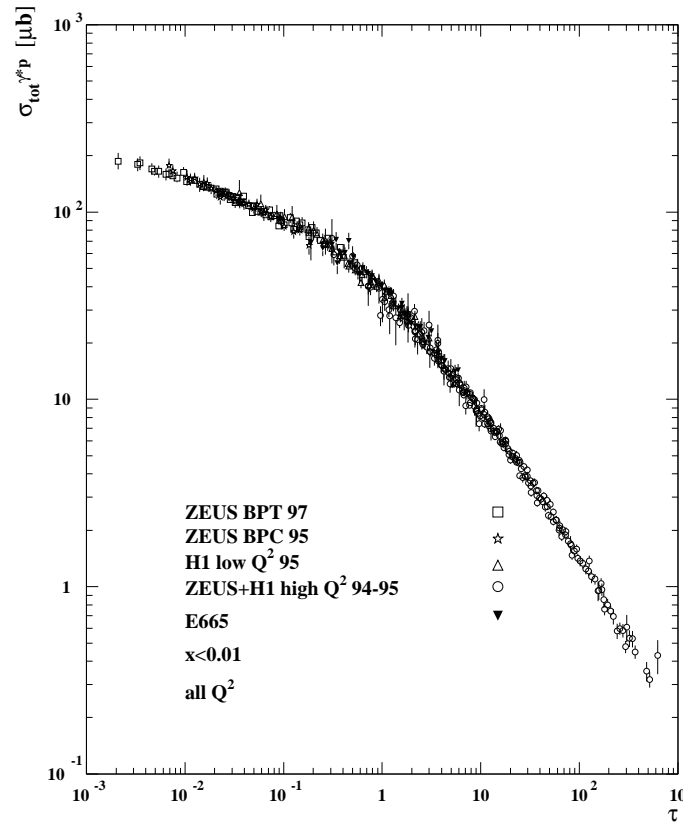
Ces non-linéarités freinent la croissance des sections efficaces à haute énergie, ce qui restaure l'**unitarité**.

Introduction

La saturation

- Méthodes
- Evolution du dipole
- Equivalence
- Loi d'échelle géométrique
- Diagramme des phases
- Equation BK
- Universalité

Au delà des équations B/JIMWLK



Données de HERA à grand  $Y$ : Loi d'échelle *géométrique*

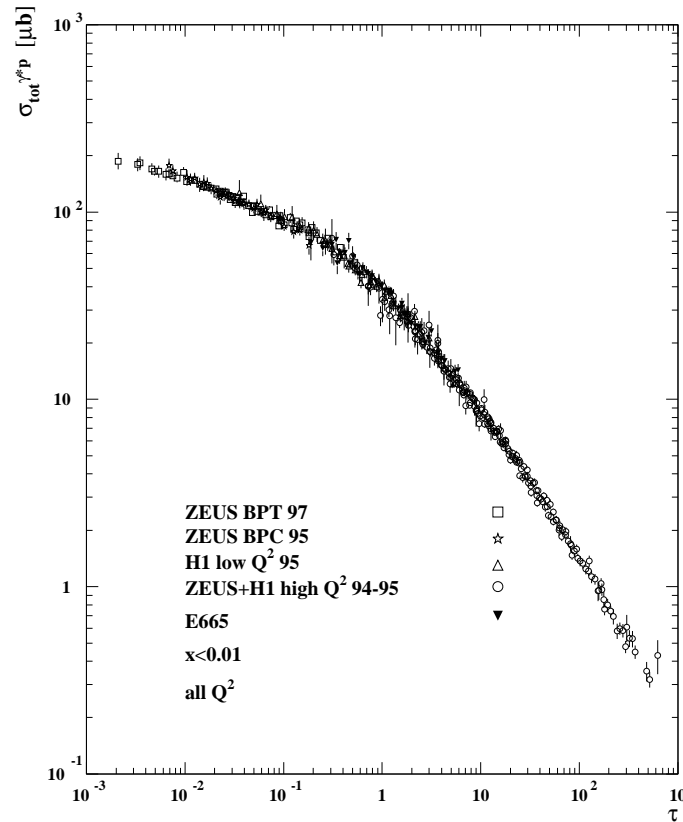
$$\sigma^{\gamma^*p}(Y, Q^2) \simeq \sigma^{\gamma^*p}\left(\frac{Q^2}{Q_s^2(Y)}\right)$$

## Introduction

### La saturation

- Méthodes
- Evolution du dipole
- Equivalence
- Loi d'échelle géométrique
- Diagramme des phases
- Equation BK
- Universalité

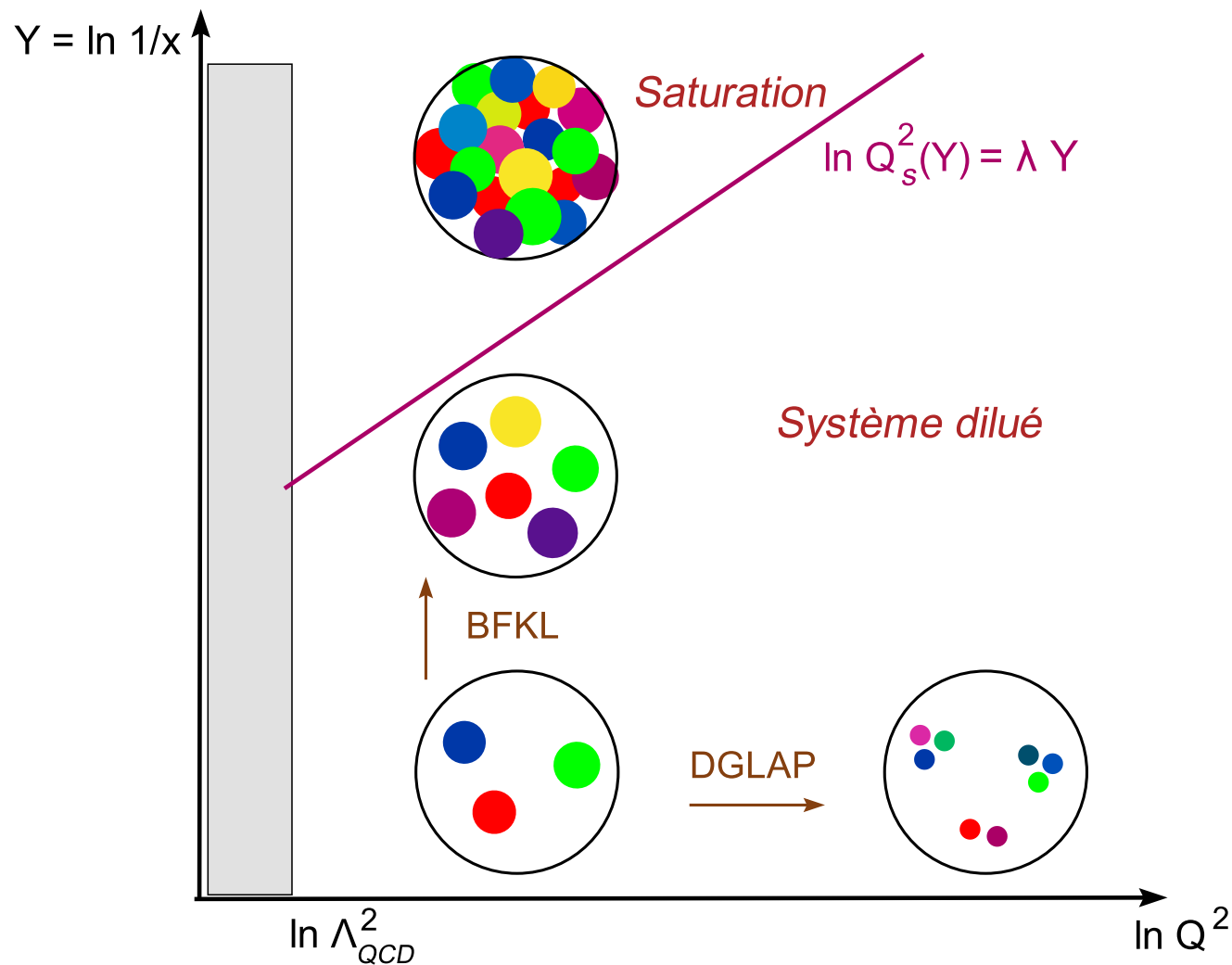
### Au delà des équations B/JIMWLK



La factorisation des dipoles transmet la loi d'échelle:

$$N(\mathbf{r}, \mathbf{b}, Y) \simeq N(\mathbf{r}^2 Q_s^2(Y), \mathbf{b})$$

# Diagramme des phases



Introduction

La saturation

- Méthodes
- Evolution du dipole
- Equivalence
- Loi d'échelle géométrique
- Diagramme des phases
- Equation BK
- Universalité

Au delà des équations B/JIMWLK

- Méthodes
- Evolution du dipole
- Equivalence
- Loi d'échelle géométrique
- Diagramme des phases
- Equation BK
- Universalité

En négligeant les corrélations, on peut tronquer la hiérarchie de Balitsky:

$$\begin{aligned} \langle T(\mathbf{x}, \mathbf{z})T(\mathbf{z}, \mathbf{y}) \rangle_Y &\simeq \langle T(\mathbf{x}, \mathbf{z}) \rangle_Y \langle T(\mathbf{z}, \mathbf{y}) \rangle_Y \\ &= N(\mathbf{x}, \mathbf{z}, Y) N(\mathbf{z}, \mathbf{y}, Y) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \partial_Y N(\mathbf{x}, \mathbf{y}, Y) &= \bar{\alpha} \int \frac{d^2 z}{2\pi} \frac{(\mathbf{x} - \mathbf{y})^2}{(\mathbf{x} - \mathbf{z})^2 (\mathbf{z} - \mathbf{y})^2} \left[ N(\mathbf{x}, \mathbf{z}, Y) \right. \\ &\quad \left. + N(\mathbf{z}, \mathbf{y}, Y) - N(\mathbf{x}, \mathbf{y}, Y) - N(\mathbf{x}, \mathbf{z}, Y)N(\mathbf{z}, \mathbf{y}, Y) \right] \end{aligned}$$

Kovchegov (1999-2000)



- Méthodes
- Evolution du dipole
- Equivalence
- Loi d'échelle géométrique
- Diagramme des phases
- Equation BK
- Universalité

En négligeant les corrélations, on peut tronquer la hiérarchie de Balitsky:

$$\begin{aligned} \langle T(\mathbf{x}, \mathbf{z}) T(\mathbf{z}, \mathbf{y}) \rangle_Y &\simeq \langle T(\mathbf{x}, \mathbf{z}) \rangle_Y \langle T(\mathbf{z}, \mathbf{y}) \rangle_Y \\ &= N(\mathbf{x}, \mathbf{z}, Y) N(\mathbf{z}, \mathbf{y}, Y) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \partial_Y N(\mathbf{x}, \mathbf{y}, Y) &= \bar{\alpha} \int \frac{d^2 z}{2\pi} \frac{(\mathbf{x} - \mathbf{y})^2}{(\mathbf{x} - \mathbf{z})^2 (\mathbf{z} - \mathbf{y})^2} \left[ N(\mathbf{x}, \mathbf{z}, Y) \right. \\ &\quad \left. + N(\mathbf{z}, \mathbf{y}, Y) - N(\mathbf{x}, \mathbf{y}, Y) - N(\mathbf{x}, \mathbf{z}, Y) N(\mathbf{z}, \mathbf{y}, Y) \right] \end{aligned}$$

Kovchegov (1999-2000)

Ne peut pas bien décrire le régime saturé, et se réduit à BFKL dans le régime dilué. Est-ce utile?

- Méthodes
- Evolution du dipole
- Equivalence
- Loi d'échelle géométrique
- Diagramme des phases
- Equation BK
- Universalité

Equation BK analogue à l'équation FKPP:  $\partial_t f = \partial_x^2 f + f - f^2$

Loi d'échelle géométrique  $\Leftrightarrow$  solution en onde progressive

$$L \equiv \ln \frac{1}{r^2} \Leftrightarrow x$$

$$\bar{\alpha}Y \Leftrightarrow t$$

$$N(r^2 Q_s^2(Y), \mathbf{b}) \Leftrightarrow f(x - vt)$$

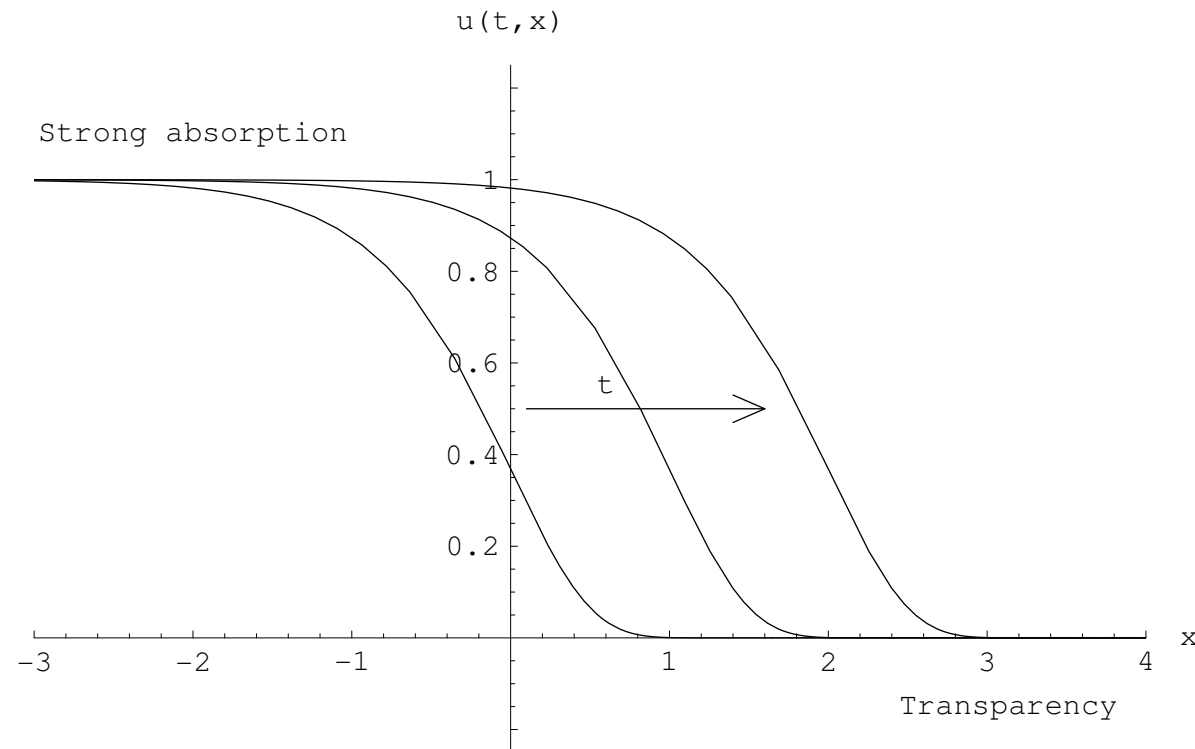
car

$$\begin{aligned} \ln \frac{1}{r^2 Q_s^2(Y)} &= \ln \frac{1}{r^2} - \ln Q_s^2(Y) \\ &= L - v\bar{\alpha}Y \end{aligned}$$

- Méthodes
- Evolution du dipole
- Equivalence
- Loi d'échelle géométrique
- Diagramme des phases
- Equation BK
- Universalité

Equation BK analogue à l'équation FKPP:  $\partial_t f = \partial_x^2 f + f - f^2$

Loi d'échelle géométrique  $\Leftrightarrow$  solution en onde progressive



- Méthodes
- Evolution du dipole
- Equivalence
- Loi d'échelle géométrique
- Diagramme des phases
- Equation BK
- Universalité

Equation BK analogue à l'équation FKPP:  $\partial_t f = \partial_x^2 f + f - f^2$

Loi d'échelle géométrique  $\Leftrightarrow$  solution en onde progressive

**Universalité** des solutions **asymptotiques** en onde progressive de FKPP et de BK dans le régime dilué:

Ne dépendent pas des détails de la condition initiale ou du terme non-linéaire.

$\Rightarrow$  BK décrit aussi bien la **transition** vers la saturation que les équations B/JIMWLK.

On peut calculer  $Q_s^2(Y)$  et  $N(\mathbf{r}, \mathbf{b}, Y)$  dans le régime dilué grâce à l'équation BK, y compris certaines violations de la loi d'échelle géométrique.

Munier, Peschanski (2003-04)

- Avec couplage *running*
- Au delà des logarithmes dominants
- Fluctuations
- Fluctuations: bruit faible
- Fluctuations v.s. couplage *running*

- Les équations B/JIMWLK sont connues à l'ordre des **logarithmes dominants (LL)**. A cet ordre, le **couplage est fixe**.
  - ◆ Effet des **ordres supérieurs (NLL, NNLL, ...)**?
  - ◆ Effet de la **liberté asymptotique**?
- Le formalisme conduisant à B/JIMWLK est fortement **dissymétrique**: projectile dilué et cible dense.
  - ◆ **Formalisme symétrique** pour la saturation? (*cf.* LHC: pp)
- Il manque les **fluctuations** associées au caractère **discret** des gluons, importantes dans le régime dilué.
  - ◆ Effet des **fluctuations** dans les collisions dense-dilué?

- Limitations de B/JIMWLK
- Avec couplage *running*
- Au delà des logarithmes dominants
- Fluctuations
- Fluctuations: bruit faible
- Fluctuations v.s. couplage *running*

Passage du couplage fixe au couplage *running*:

$$\bar{\alpha}(L) \equiv \frac{1}{bL} = -\frac{1}{b \ln r^2}$$

L'image de la solution en onde progressive subsiste, mais:

Changement de classe d'universalité.

échelle de saturation:  $\ln Q_s^2(Y) \propto Y \mapsto \ln Q_s^2(Y) \propto \sqrt{Y}$

loi d'échelle géométrique:  $L - v\bar{\alpha}Y \mapsto L - v\sqrt{\frac{Y}{b}}$

Violations de scaling universelles plus importantes.

- Limitations de B/JIMWLK
- Avec couplage *running*
- Au delà des logarithmes dominants
- Fluctuations
- Fluctuations: bruit faible
- Fluctuations v.s. couplage *running*

**Avec couplage fixe:** la solution asymptotique universelle de l'équation BK avec un noyau NLL dépend des termes NLL.

Enberg (2005-07), Peschanski, Sapeta (2006)

- Limitations de B/JIMWLK
- Avec couplage *running*
- Au delà des logarithmes dominants
- Fluctuations
- Fluctuations: bruit faible
- Fluctuations v.s. couplage *running*

**Avec couplage fixe:** la solution asymptotique universelle de l'équation BK avec un noyau NLL dépend des termes NLL.

Enberg (2005-07), Peschanski, Sapeta (2006)

**Avec couplage *running* :** la solution asymptotique universelle de l'équation BK avec un noyau NLL est indépendante:

- des termes NLL
  - du choix de l'échelle pour le couplage.
- ⇒ **Universalité étendue.**

Beuf, Peschanski (2007)



- Limitations de B/JIMWLK
- Avec couplage *running*
- Au delà des logarithmes domi
- Fluctuations
- Fluctuations: bruit faible
- Fluctuations v.s. couplage *running*

**Avec couplage fixe:** la solution asymptotique universelle de l'équation BK avec un noyau NLL dépend des termes NLL.

Enberg (2005-07), Peschanski, Sapeta (2006)

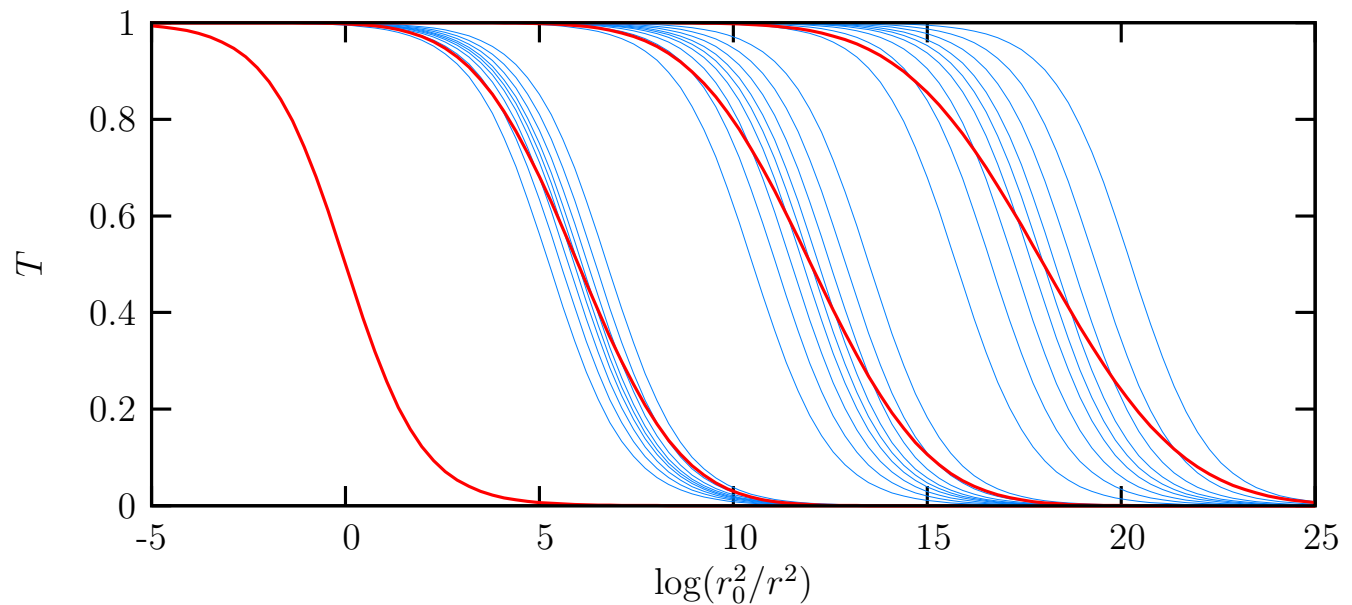
**Avec couplage *running* :** la solution asymptotique universelle de l'équation BK avec un noyau NLL est indépendante:

- des termes NLL
  - du choix de l'échelle pour le couplage.
- ⇒ **Universalité étendue.**

Beuf, Peschanski (2007)

L'influence des termes NLL et du choix de l'échelle du couplage disparaît bien **avant** le régime asymptotique.

- Limitations de B/JIMWLK
- Avec couplage *running*
- Au delà des logarithmes dominants
- **Fluctuations**
- Fluctuations: bruit faible
- Fluctuations v.s. couplage *running*



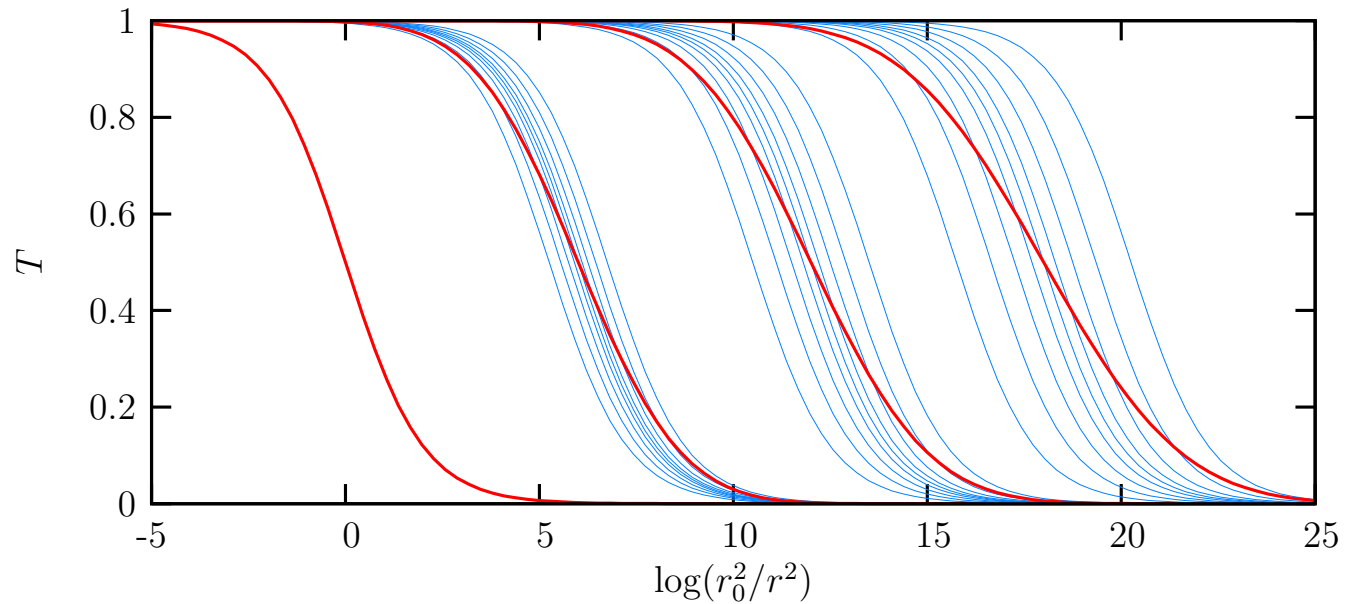
Les fluctuations dans le régime dilué sont amplifiées par la croissance BFKL:

⇒ **échelle de saturation aléatoire.**

A haute énergie: loi d'échelle *géométrique* violée **en moyenne**, doit être remplacée par une **loi d'échelle *diffusive***.

**Iancu, Mueller, Munier (2005)**

- Limitations de B/JIMWLK
- Avec couplage *running*
- Au delà des logarithmes dominants
- **Fluctuations**
- Fluctuations: bruit faible
- Fluctuations v.s. couplage *running*



Dispersion de l'échelle de saturation:  $\Delta(\log Q_s^2(Y)) \simeq \sqrt{DY}$

Loi d'échelle *diffusive*:  $N(\mathbf{r}, \mathbf{b}, Y) \simeq N\left(\frac{L - v\bar{\alpha}Y}{\sqrt{DY}}\right)$

Iancu, Mueller, Munier (2005)

- Limitations de B/JIMWLK
- Avec couplage *running*
- Au delà des logarithmes dominants
- Fluctuations
- Fluctuations: bruit faible
- Fluctuations v.s. couplage *running*

Modèle: équation sFKPP:

$$\partial_t f(x, t) = \partial_x^2 f + f - f^2 + \epsilon \sqrt{f(1-f)} \nu(x, t)$$

Cumulants de l'échelle de saturation calculés dans la limite de bruit faible  $\epsilon \rightarrow 0$ .

- Limitations de B/JIMWLK
- Avec couplage *running*
- Au delà des logarithmes dominants
- Fluctuations
- **Fluctuations: bruit faible**
- Fluctuations v.s. couplage *running*

**Modèle:** équation sFKPP:

$$\partial_t f(x, t) = \partial_x^2 f + f - f^2 + \epsilon \sqrt{f(1-f)} \nu(x, t)$$

Cumulants de l'échelle de saturation calculés dans la limite de bruit faible  $\epsilon \rightarrow 0$ .

**Idée:**

- **Fluctuations petites mais fréquentes:** modélisation par un cut-off déterministe: caractère discret des gluons.  
 $\Rightarrow$  diminution de la vitesse:  $\delta v \propto -\log^{-2}(\epsilon)$
- **Fluctuations grandes mais rares:** rendent l'échelle de saturation aléatoire.  
 $\Rightarrow$  coefficient de la dispersion:  $D \propto |\log(\epsilon)|^{-3}$

Brunet, Derrida, Mueller, Munier (2006)

- Limitations de B/JIMWLK
- Avec couplage *running*
- Au delà des logarithmes dominants
- Fluctuations
- Fluctuations: bruit faible
- Fluctuations v.s. couplage *run*

**Modèle:** equation BK avec terme de bruit multiplicatif et avec couplage *running*.

Couplage faible  $\Leftrightarrow$  très petit  $r^2 \Leftrightarrow$  très grand  $Y$ .

Calcul analytique du comportement asymptotique des cumulants de l'échelle de saturation.

→ Croissance moins rapide des cumulants qu'à couplage fixe.

Hyper asymptotiquement en  $Y$ : loi d'échelle diffusive toujours valide, mais modifiée:

$$N(\mathbf{r}, \mathbf{b}, Y) \simeq N \left( \left( L - v \sqrt{\frac{Y}{b}} \right) / \sigma \right) \quad \text{avec} \quad \sigma \propto \sqrt{\frac{\sqrt{Y}}{\log^3 Y}}$$

Beuf (2007)

Introduction

La saturation

Au delà des équations B/JIMWLK

- Limitations de B/JIMWLK
- Avec couplage *running*
- Au delà des logarithmes dominants
- Fluctuations
- Fluctuations: bruit faible
- Fluctuations v.s. couplage *run*

## Mes travaux en cours ou en projet:

- Meilleure compréhension des solutions de BK avec couplage *running*: étude
  - ◆ analytique: **redaction en cours**
  - ◆ numérique: **en projet**, avec ?
  - ◆ phénoménologique: **en cours**, avec **Royon et Salek**
- Théorie des champs effective pour les fluctuations, et liens avec les théories des champs de réaction-diffusion.
  - ◆ **en cours**
  - ◆ **en projet**, avec **Peschanski**

- Limitations de B/JIMWLK
- Avec couplage *running*
- Au delà des logarithmes dominants
- Fluctuations
- Fluctuations: bruit faible
- Fluctuations v.s. couplage *run*

## Mes travaux en cours ou en projet:

- Phénoménologie de l'équation BFKL et de la saturation à HERA, au Tevatron, et au LHC.
  - ◆ en cours, avec **Kepka, Marquet, Peschanski et Royon**
- Ondes progressives et saturation pour la diffraction inclusive.
  - ◆ en projet, avec **Kozlov**