



**ALICE**



---

## ALICE MEETING GROUP - Grenoble

MILLOT Louise – 06/03/2025

# Travail sur les observables de sous-structure

Quelle observable est pertinente ?

## Echanges avec P.Caucal

SUBATECH, Nantes

### 1. Amélioration des mesures existantes

- Mesures plus précises pour contraindre les modèles théoriques
- Étude de la décohérence de couleur et des collisions dures
- ➔ Faire le lien avec des observables plus inclusives

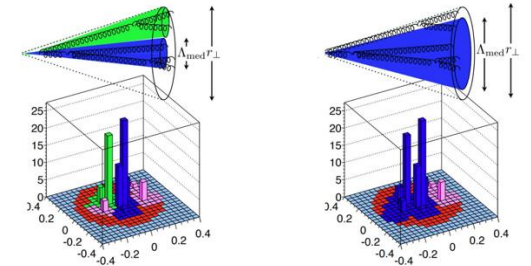
• **Grooming des jets** (SoftDrop, Dynamical Grooming) → Sensibilité à l'évolution des jets

• **Corrélateurs énergie-énergie (EEC)** → Nouvel outil d'analyse des jets


### 2. Réduction du Survival Bias

- Sélection des jets dans des événements **photon-jet**  
Permet d'estimer le pT du parton à partir du photon  
Approche validée par des mesures récentes de CMS

*Resolved as two charges → more quenching*      *Resolved as a single charge → less quenching*



Diagrams from J.Casalderrey-Solana, Y. Mehtar-Tani, C. A. Salgado, K. Tywoniuk, [arXiv:1210.7765](https://arxiv.org/abs/1210.7765)

**PWG-JE JSUB PAG Weekly Meeting**  
mardi 4 mars 2025, 16:00 → 18:25 Europe/Zurich  
Sidharth Kumar Prasad (Bose Institute (IN)), Wenqing Fan (University of Houston (US))

ALICE

zoom JSUB PAG Meeting [Rejoindre](#)

16:00 → 17:40 QM 2025 Analysis Campaign

Weekly update from analyses aiming for new results for QM25. The update can be in the following forms:  
1. Formal presentation with slides  
2. Verbal update during the meeting and add minutes to your contribution block  
3. Written update via emails to coordinators/email list  
4. Add minutes to your contribution block

16:00

**[Poster abstract] Charge-dependent EEC in pp and pPb**  
Orateur: Tucker Hwang (University of California Berkeley (US))  
Hwang\_CEEC\_PAG\_...

10m

16:10

**[Talk abstract] Probing jet hadronchemistry modification with measurements of identified particles in jets and the underlying event in pp and Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s} = 5.02$  TeV with ALICE**  
Orateur: Sierra Cantway (Yale University (US))  
Cantway\_JSUB\_040...

10m

16:20

**[Talk abstract] Measuring energy-energy correlators in pPb collisions**  
Orateur: Anjali Nambrath (University of California Berkeley (US))

10m

16:30

**[Talk abstract] Measuring energy-energy correlation in PbPb at 5 TeV**  
Orateur: Wenqing Fan (University of Houston (US))  
EEC\_JSUB\_wenqing...

10m

16:40

**[Talk abstract] Measuring N-point energy correlators in PbPb at 5 TeV**  
Orateur: Ananya Rai (Yale University (US))

10m

### Angularities

- Comment les moments les constituants des jets sont repartis autour du jet axis ?

$$\lambda_{\beta}^{\kappa} = \sum_{i \in \text{jet}} z_i^{\kappa} R_{i,\text{jet}}^{\beta} \quad \text{avec} \quad z_i = p_{T,i}/p_{T,\text{jet}}$$

Fraction of pT  
carried by i

Angular  
distance of i  
to the jet axis

$\beta$  : Pour la distance p/r a l'axe du jet

$\kappa$  : Energy weighting factor

### Nsubjettiness

- Comment un jet se rapproche d'une structure en N sous jets (valeur numérique)

$$\tau_N = \frac{\sum_{i \in \text{jet}} p_T^i \min(R_{1,i}, \dots, R_{N,i})}{R_0 p_{T,\text{jet}}}$$

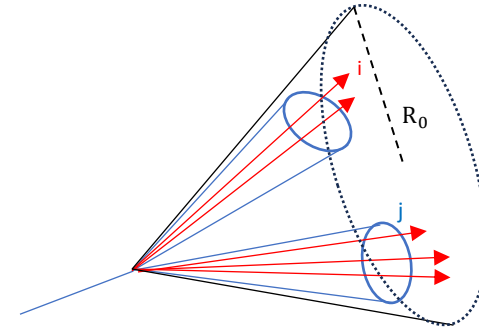
$R_0$  : jet radius used in jet clustering algo

$R_{j,i}$  : distance entre constituants i et sujet j

$\tau_N$  indique une structure en N-subjet, plus  $\tau_N$  est proche de 0, plus le jet a une sous structure de N (ou moins) sous-jets

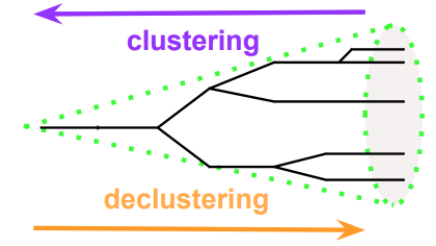
Meilleur utilisation avec le ratio:  $\tau_{N,N-1} = \frac{\tau_N}{\tau_{N-1}}$

Plus la valeur est petite, plus le jet a une structure en N-subjet



## Techniques de grooming

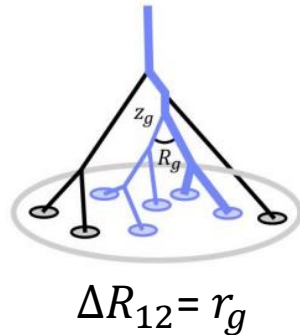
Jusqu'à présent ces observ. sont obtenues à partir des particules clusterisées dans un jet  
-> mais on peut aussi avoir des observ. obtenues après que ces jets aient été soumis à une procédure de **grooming**



### SoftDrop

- prend les constituants d'un jet (reclusterisé avec C/A)
- récursivement déclusterise l'histoire de la ramification du jet en rejetant la softest branch jusqu'à :

$$z_g = \frac{\min(p_T^1, p_T^2)}{p_T^1 + p_T^2} > z_{cut} \left( \frac{\Delta R_{12}}{R} \right)^\beta$$



- $z_{cut} = 0.2$  in HI
  - $\beta = 0$
- ↙
- <https://arxiv.org/pdf/1808.03689>

### Dynamical grooming

- A chaque étape de re-clusterisation (C/A), on garde la branche qui maximise :

$$\kappa^{(a)} = \frac{1}{p_{T,jet}} \max \left[ z_i (1 - z_i) p_{T,i} \left( \frac{R_{i,j}}{R_0} \right)^a \right]$$

- TimeDrop (TD) :  $a = 2$  le plus court temps de formation
- $k_T$ -Drop (ktD) :  $a = 1$  le plus large  $k_T$
- z-Drop (zD) :  $a = 0$  symmetric splitting

SciPost

SciPost Phys. 16, 015 (2024)

Jet substructure observables for jet quenching in quark gluon plasma: A machine learning driven analysis

Miguel Crispim Romão<sup>1,2\*</sup>, José Guilherme Milhano<sup>1,3</sup> and Marco van Leeuwen<sup>4</sup>

1 Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas (LIP),  
Av. Professor Gama Pinto 2, 1649-003 Lisboa, Portugal

2 Department of Physics and Astronomy, University of Southampton,  
SO17 1BJ Southampton, United Kingdom

3 Departamento de Física, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa,  
Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa, Portugal

4 Nikhef, National Institute for Subatomic Physics, PO. Box 41882, 1009 DB Amsterdam and  
Utrecht University, PO. Box 80000, 3508 TA Utrecht, The Netherlands

\* mcrமான@lip.pt

Unquenched : no QGP, executable *jewel – vac*, correspondant a la description de *JEWEL* en pp-collisions  
Quenched : généré avec l’executable *jewel – simple* inclus le QGP modélisé par *JEWEL* (pas de QCD response)

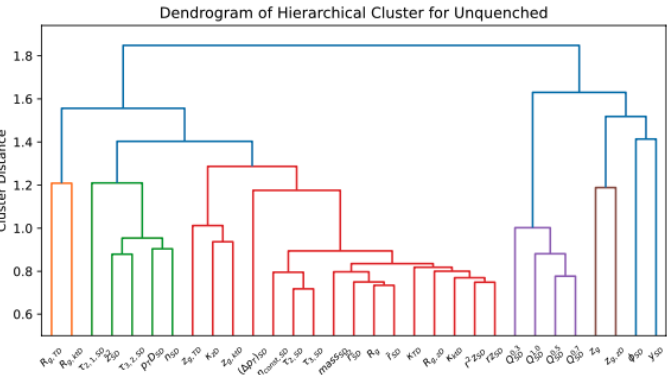
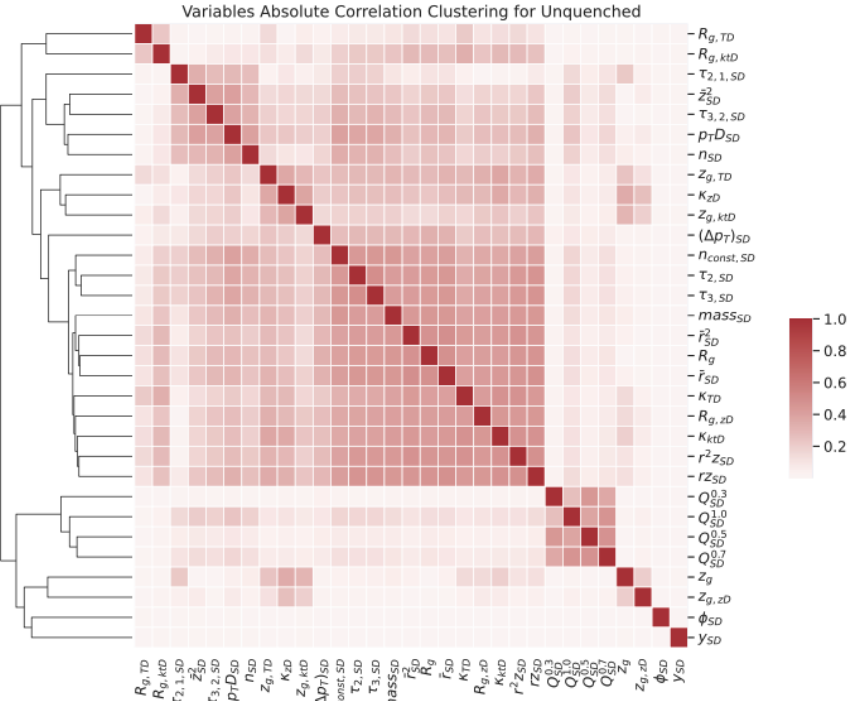
Ensemble des observables étudiées :

Observable	Type
$y_{SD}$ $\phi_{SD}$ $\Delta p_{T,SD} = p_{T,jet} - p_{T,jet_{SD}}$ $m_{SD}$ $n_{const,SD}$	Jet Momenta and Constituent Multiplicity
$\bar{r}_{SD} = \frac{1}{n_{const,SD}} \lambda_{1,SD}^0$ $\bar{r}_{SD}^2 = \frac{1}{n_{const,SD}} \lambda_{2,SD}^0$ $r z_{SD} = \lambda_{1,SD}^1$ $r^2 z_{SD} = \lambda_{2,SD}^1$ $\bar{z}_{SD}^2 = \frac{1}{n_{const,SD}} \lambda_{0,SD}^2$ $p_T D_{SD} = \sqrt{\sum_{i \in jet_{SD}} p_{T,i}^2 / p_{T,jet,SD}}$	
$\tau_{2,SD}, \tau_{3,SD}$ $\tau_{1,2,SD}, \tau_{2,3,SD}$	N-subjettiness
$ Q_{SD}^{0.3} ,  Q_{SD}^{0.5} ,  Q_{SD}^{0.7} ,  Q_{SD}^{1.0} ,$	Jet-Charges
$R_g, z_g, n_{SD}$	SoftDrop Grooming Intrinsic
$R_{g,A}, z_{g,A}, \kappa_A$ with $A \in \{TD, ktD, zD\}$	Dynamical Grooming Intrinsic

<https://arxiv.org/abs/2304.07196>

# Matrices de corrélation

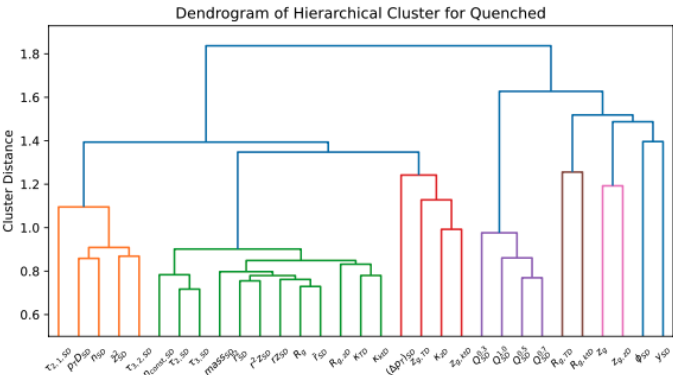
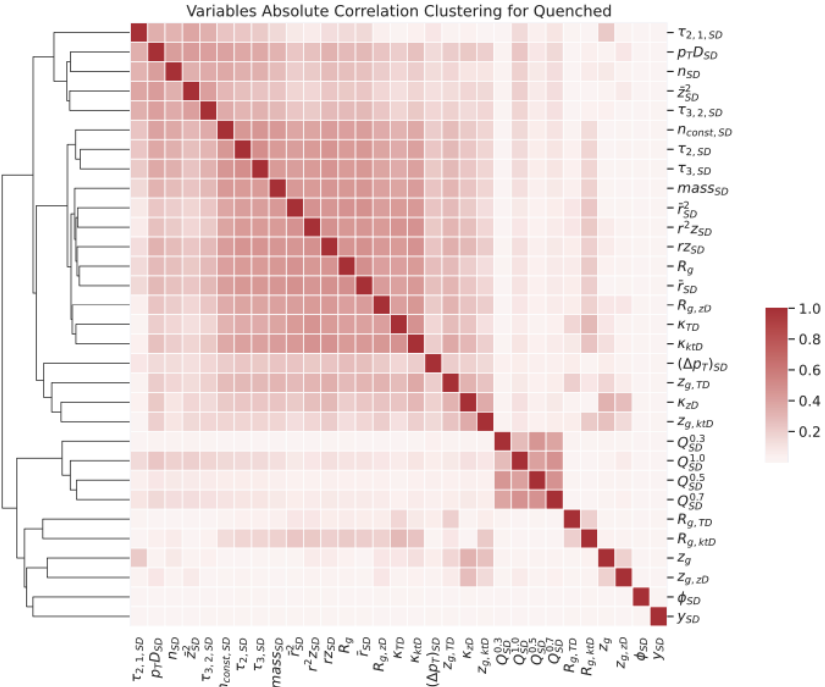
## Unquenched



### Matrices de corrélation:

- Calcul de la distance euclidienne entre une paire d'observables
- Cluster des lignes proche entre elles

## Quenched

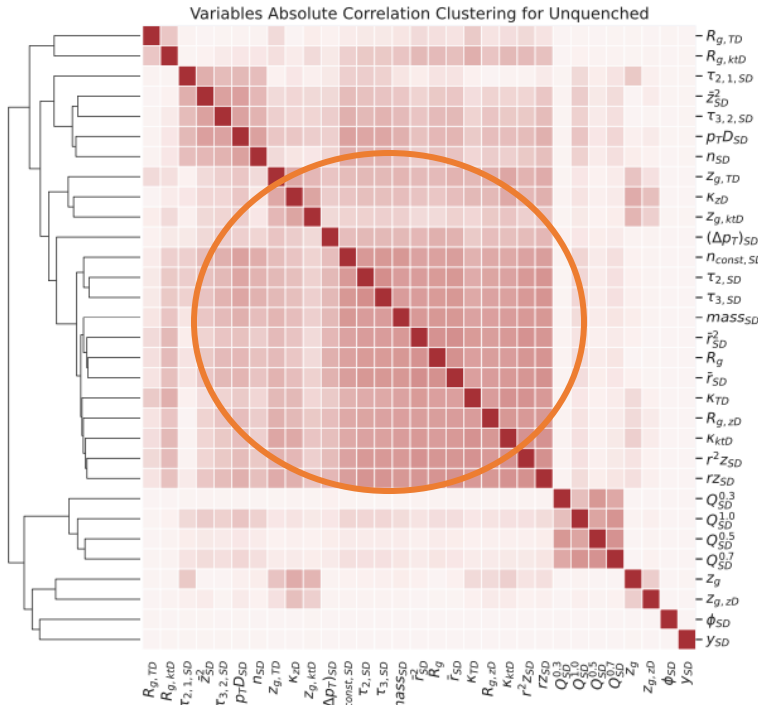


### Dendogrammes:

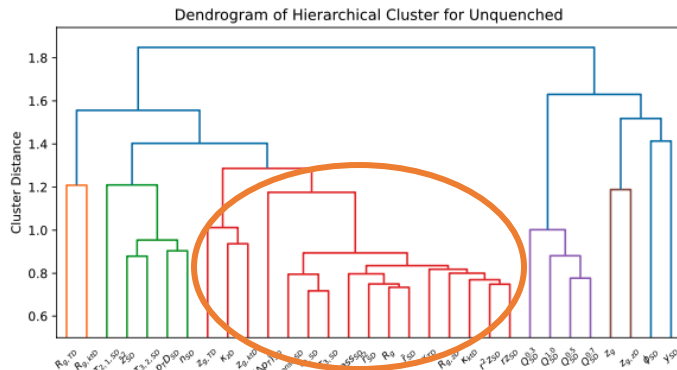
- Montre l'histoire de l'arbre de clusterisation

# Matrices de corrélation

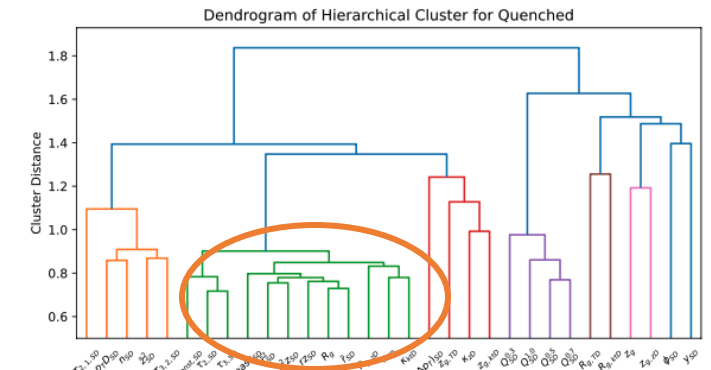
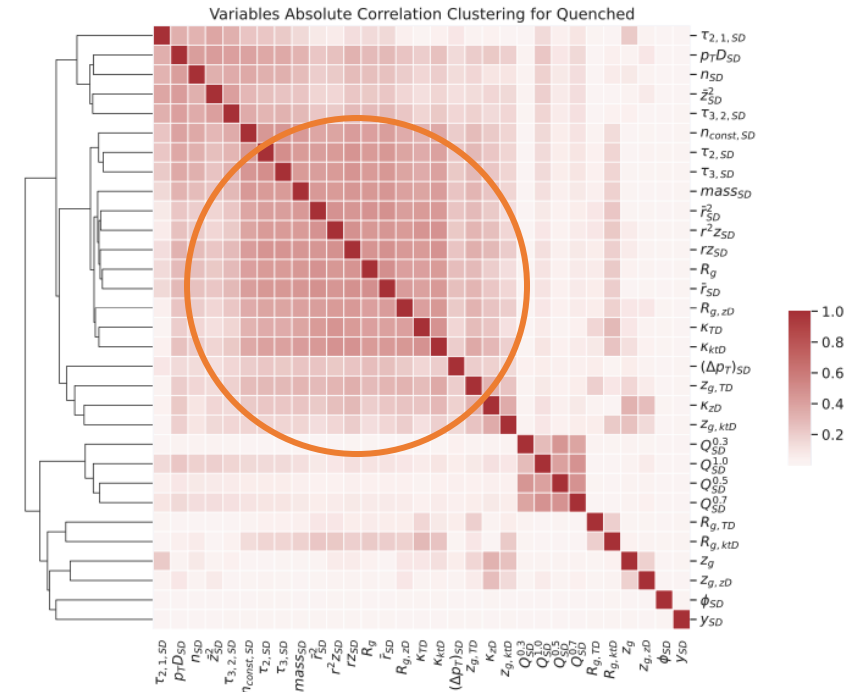
## Unquenched



- Un **large groupe** d'observ. est corrélé et clusterisé (sous-structure transverse eg. angularities)
- Les « jets charges » sont corrélées entre elles mais **pas** avec les autres  
-> Codent des infos qui ne sont pas prisent en compte par d'autres observ.  
-> Ces infos ne sont pas modifiées par le quenching
- Observ. de grooming forment un groupe à part dans le quenching
- $\phi/\gamma$  n'est corrélé a aucune autre car jets uniforme en azimuth et small pT range

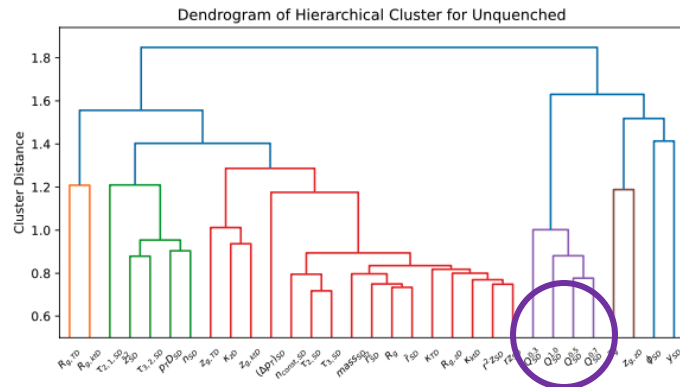
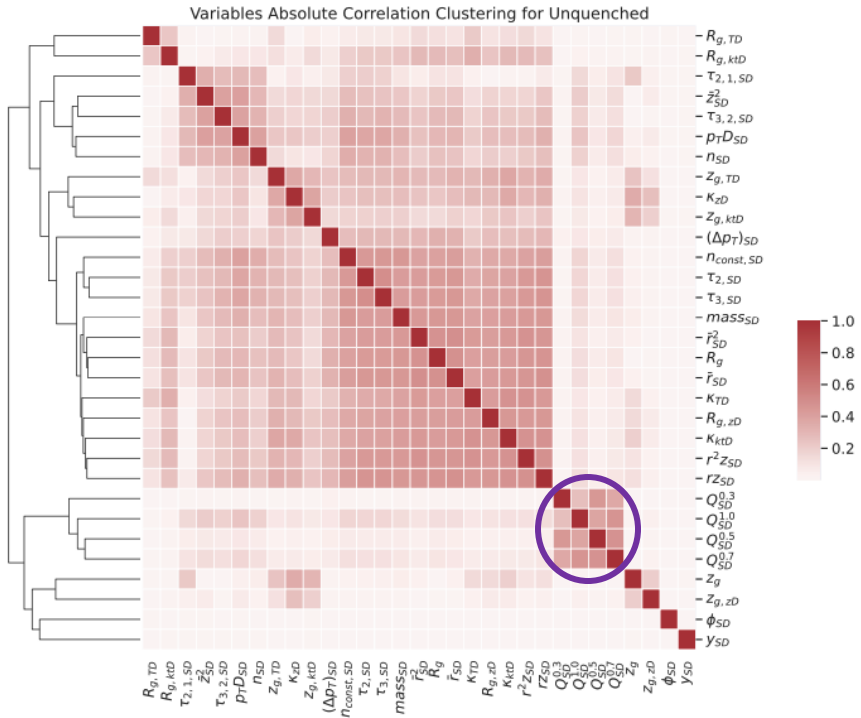


## Quenched



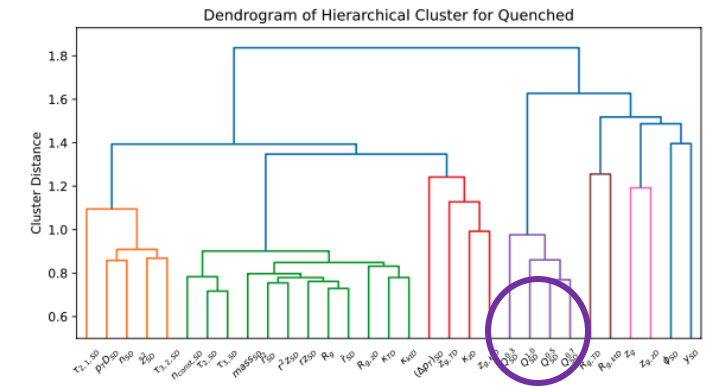
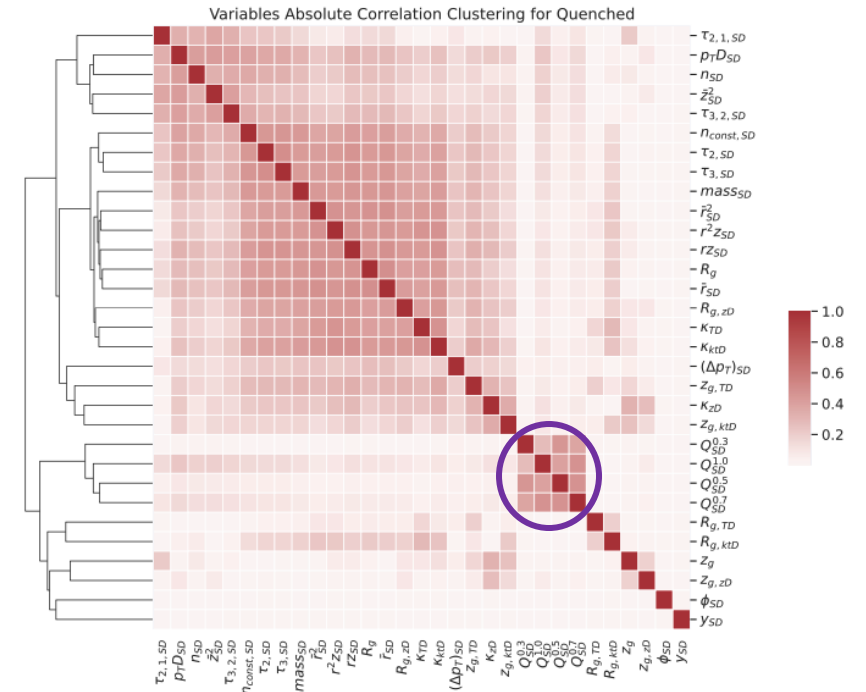
## Matrices de corrélation

# Unquenched



- Un large groupe d'observ. est corrélé et clusterisé (sous-structure transverse eg. angularities)
- Les « **jets charges** » sont corrélées entre elles mais **pas** avec les autres
  - > Codent des infos qui ne sont pas prisent en compte par d'autres observ.
  - > Ces infos ne sont pas modifiées par le quenching
- Observ. de grooming forment un groupe à part dans le quenching
- $\phi/\gamma$  n'est corrélé a aucune autre car jets uniforme en azimuth et small  $p_T$

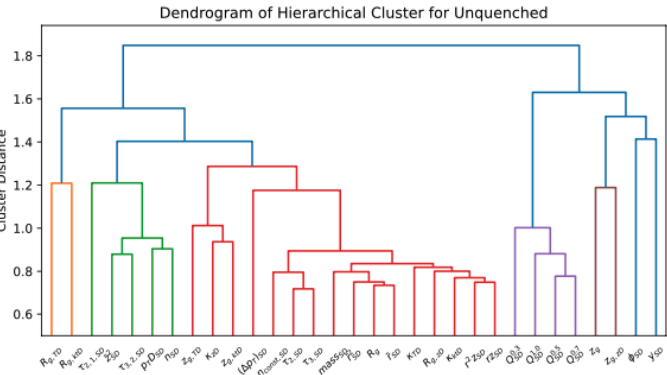
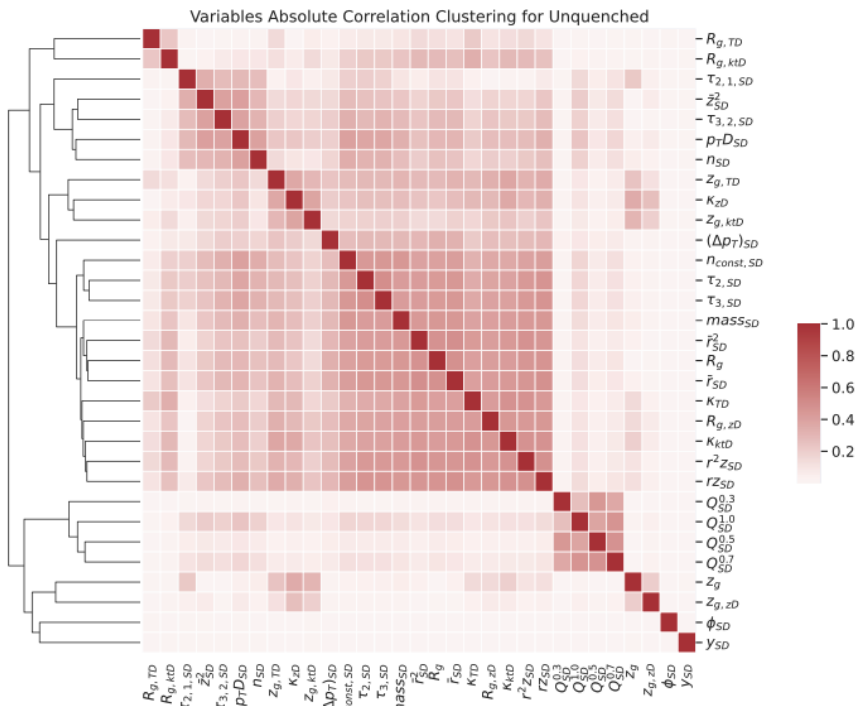
## Quenched





# Matrices de corrélation

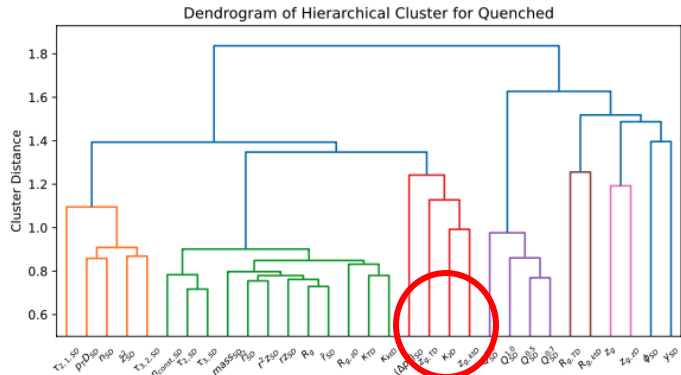
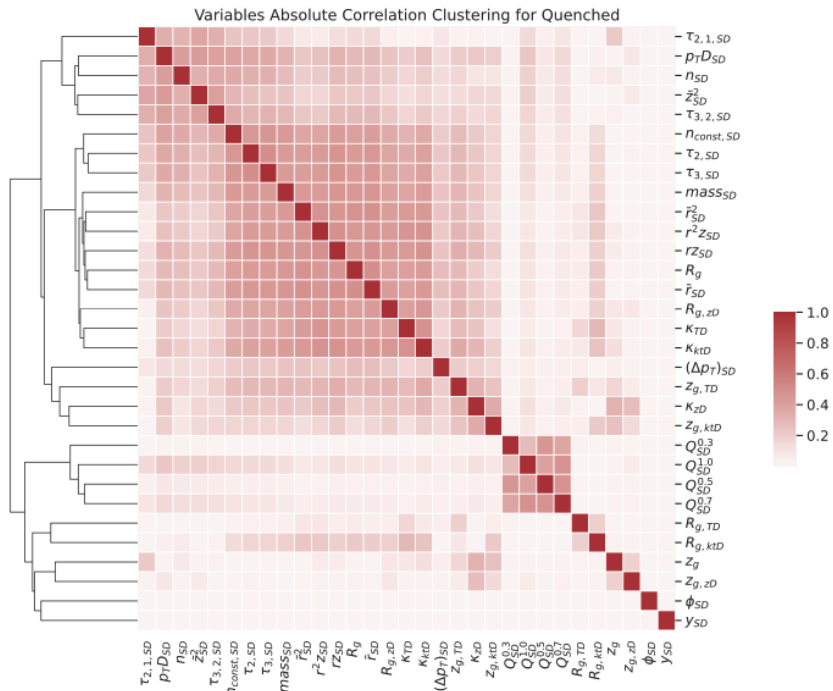
## Unquenched



↑ ?

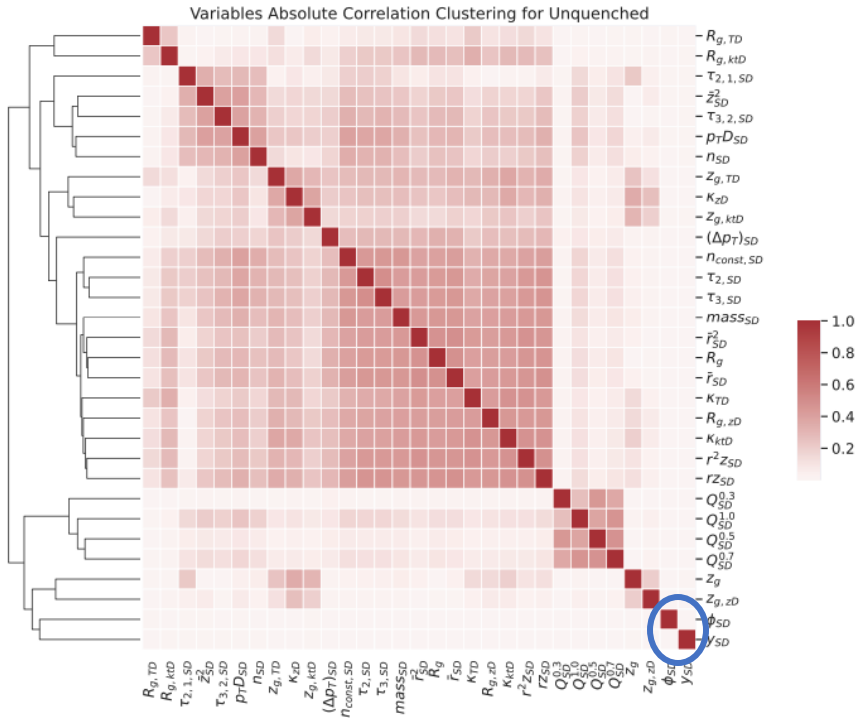
- Un large groupe d'observ. est corrélé et clusterisé (sous-structure transverse eg. angularities)
- Les « jets charges » sont corrélées entre elles mais **pas** avec les autres
  - > Codent des infos qui ne sont pas prisent en compte par d'autres observ.
  - > Ces infos ne sont pas modifiées par le quenching
- Observ. de **grooming** forment un groupe à part dans le quenching
- $\phi/\gamma$  n'est corrélé a aucune autre car jets uniforme en azimuth et small pT range

## Quenched

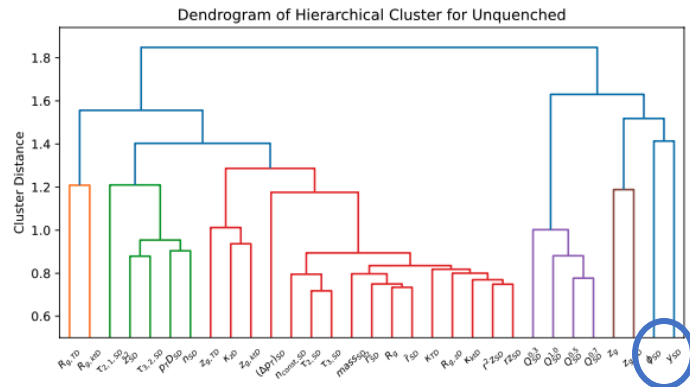


# Matrices de corrélation

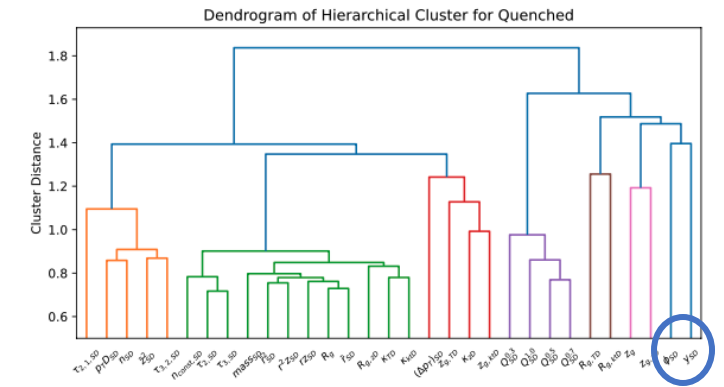
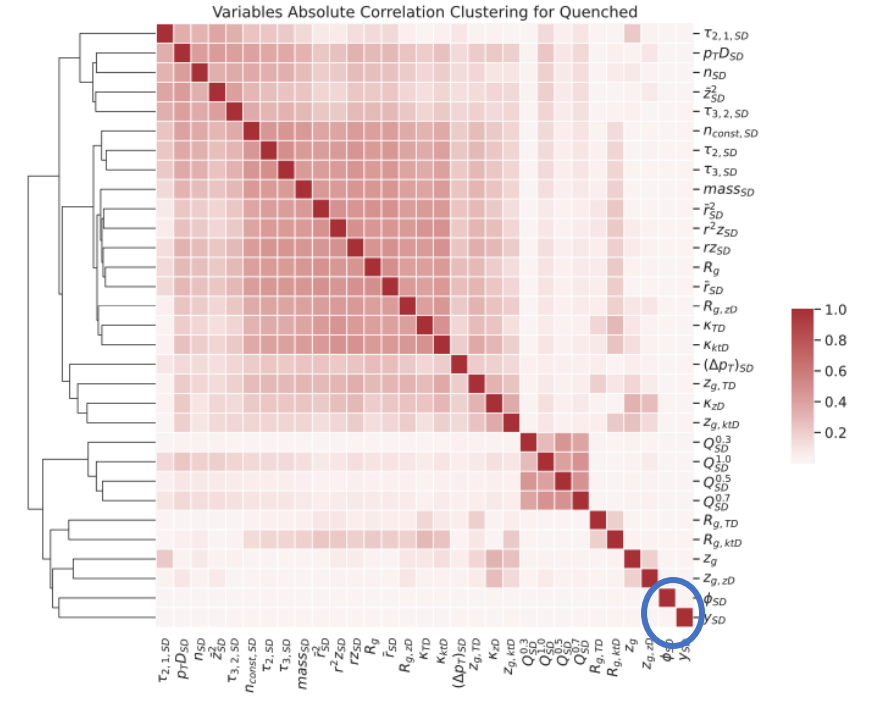
## Unquenched



- Un large groupe d'observ. est corrélé et clusterisé (sous-structure transverse eg. angularities)
- Les « jets charges » sont corrélées entre elles mais **pas** avec les autres  
-> Codent des infos qui ne sont pas prisent en compte par d'autres observ.  
-> Ces infos ne sont pas modifiées par le quenching
- Observ. de grooming forment un groupe à part dans le quenching
- $\phi/\gamma$  n'est corrélé a aucune autre car jets uniforme en azimuth et small pT range



## Quenched

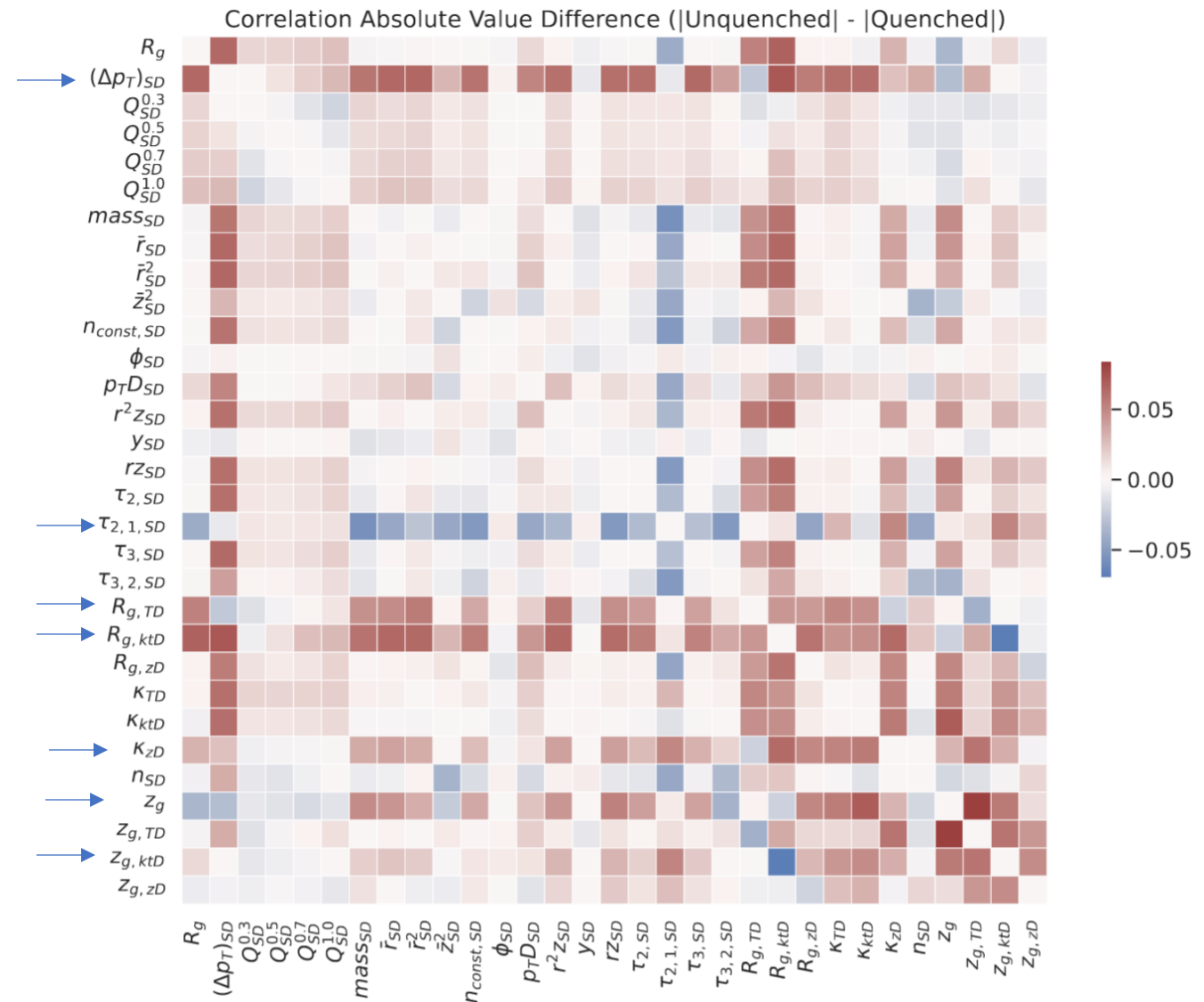


## Matrices de corrélation : différences entre Unquenched VS quenched

- Est-ce que la corrélation a été affectée par le milieu?

Différence entre les valeurs absolues des coefficients de corrélation dans les échantillons unquenched et quenched pour chaque paire d'observables

$(\Delta p_T)_{SD}, \tau_{2,1,SD}, R_{g,TD}, R_{g,kTD}, \kappa_{zD}, Z_g, Z_{g,kTD}$  : leur corrélation est modifiée par le quenching



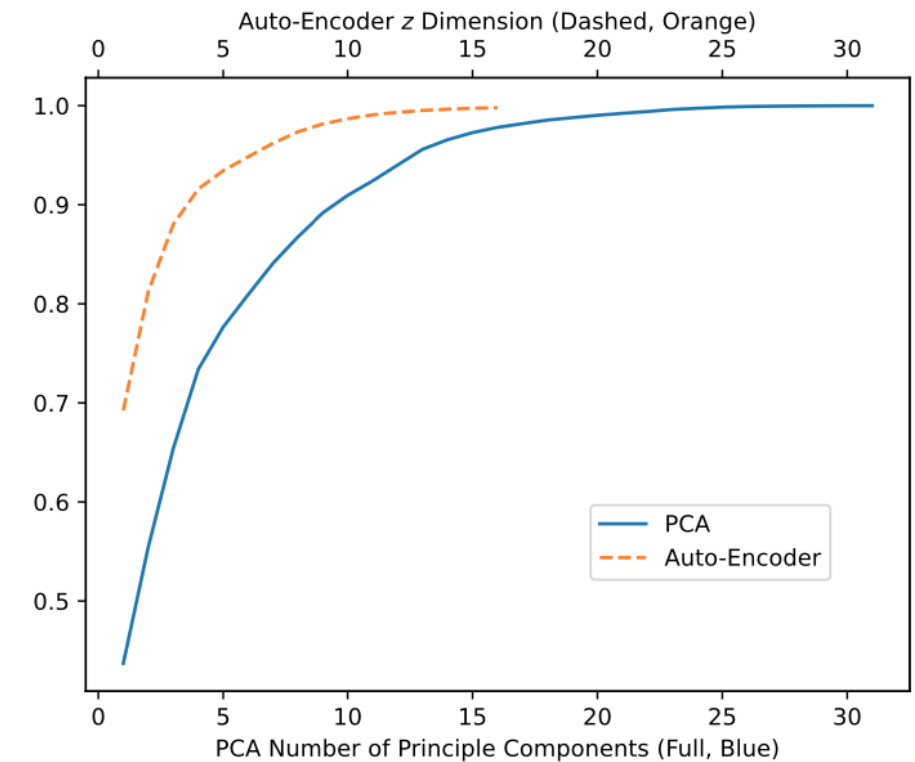
## Test PCA et AE

Ces méthodes sont utilisées pour réduire la dimensionnalité et comprendre comment les observables se regroupent

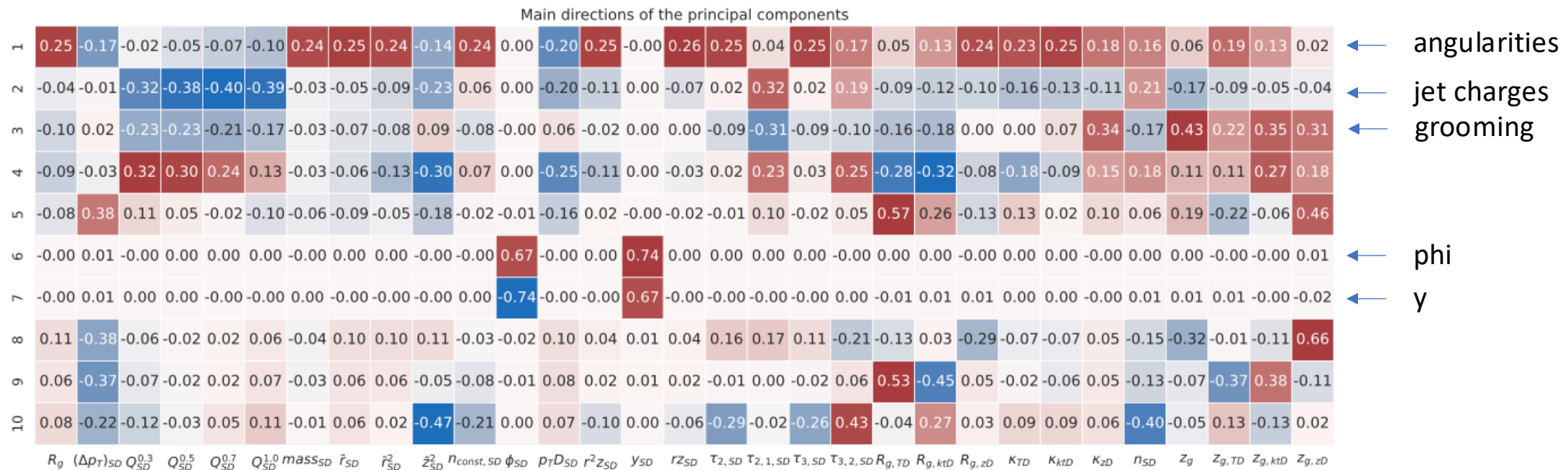
PCA permet **de trouver ces nouvelles variables** (appelées **composantes principales**) qui contiennent l'essentiel de l'information (**relations linéaires**)

AE : **Réseau neuronal** qui apprend à reconstruire les données et capture aussi les relations **non linéaires**

$R^2$  coefficient de détermination : quantifie la qualité de la reconstruction



## Contribution de chaque observable pour la PCA



L'analyse PCA et l'AE montrent qu'il suffit d'un **petit nombre de degrés de liberté** pour expliquer toute la variance des observables.

- **PCA : Les 10 premières composantes principales** capturent ~90% des distributions des observables.
- **Auto-Encodeur (AE) : On peut compresser** toute l'information dans un **espace latent de seulement 5 dimensions** sans trop perdre en précision.

Jusque la, on a juste vu l'influence du quenching sur la **corrélation** entre les observables, pas l'influence du quenching sur les observables

## Influence du quenching sur les observables : BDT

**BDT** identifie les observables les plus sensibles pour distinguer les jets **Quenched** des jets **Unquenched**

La performance est mesurée avec l'**AUC ROC** (Area Under the Curve du Receiver Operating Characteristic), qui quantifie la capacité du modèle à bien classer les jets.

Le BDT entraîné sur **toutes les observables** atteint une AUC de **0.701 (1 serait l'optimal)**

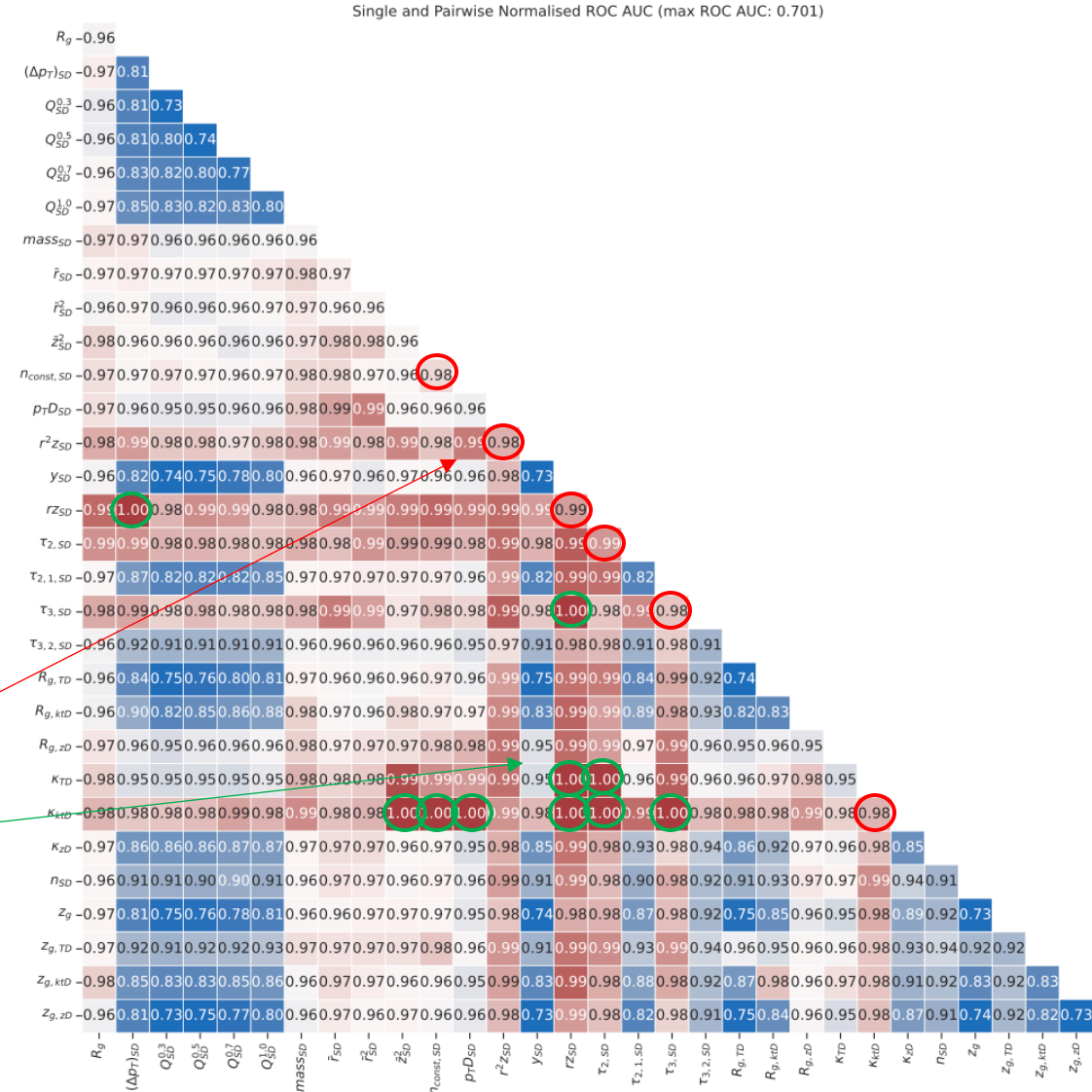
Ensuite, ils ont testé des BDT entraînées seulement sur **1 observable/ paires d'observables** pour voir si certaines combinaisons atteignent la performance du BDT complet.

Résultats:

Il y a des observ. sensible aux effets du QGP par **elle-même**

Mais aussi des **paires** d'observables qui sont influencées par le quenching

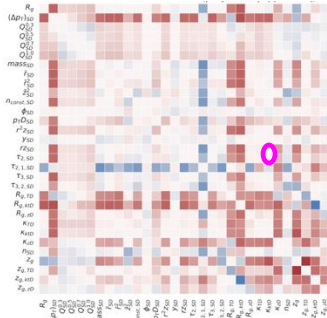
Ici : paires d'observables du type **grooming/angularities**



# Influence du quenching sur la **corrélation** entre les paires d'observ.

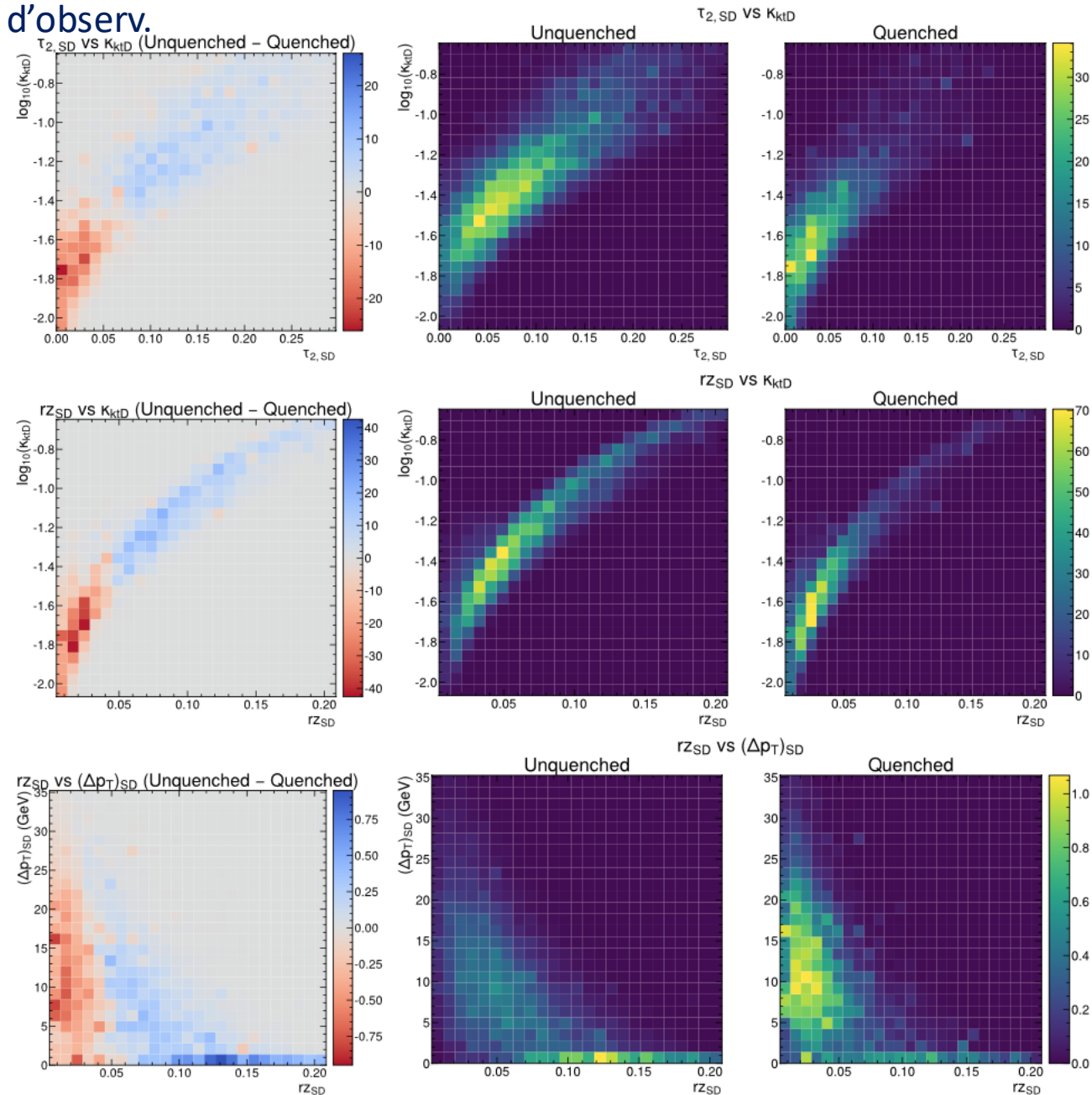
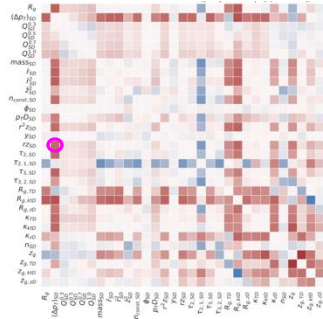
Deux cas de figure pour des paires d'observ. :

- Sensibles au quenching, mais dont la corrélation **ne change pas** avec le quenching



Même si le quenching change la valeur de ces observables, il le fait **de manière proportionnelle**, sans altérer leur dépendance mutuelle (juste un shift de la MPV)

- Sensibles au quenching, et dont la corrélation **est affectée** par le quenching



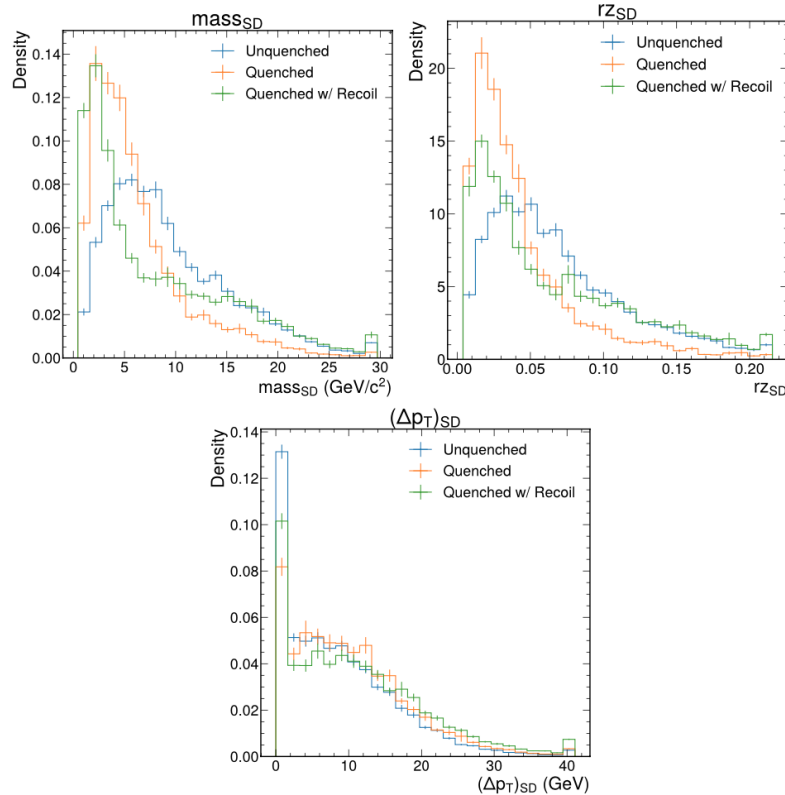
Bottom: relation linéaires (PCA) affectées mais pas les non-linéaires (AE)



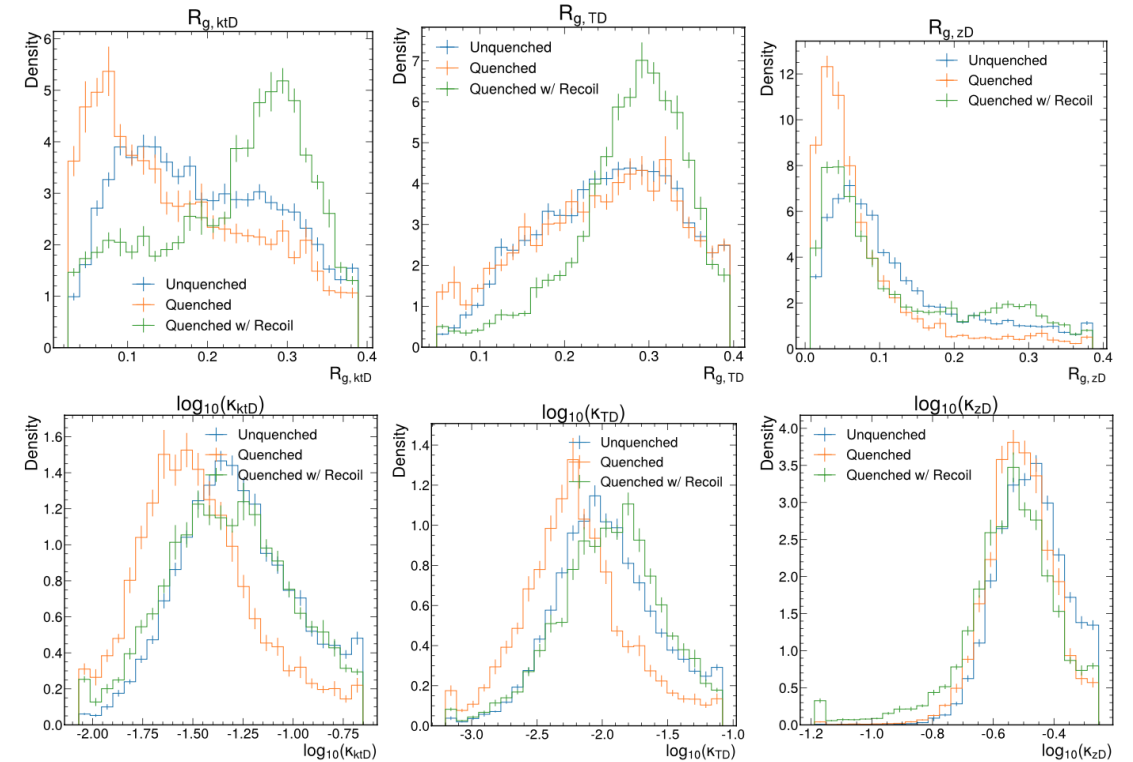
## QGP response

Jusque-là, les analyses ont été faites **sans prendre en compte cette réponse**, ce qui signifie que seules les modifications directes du jet par le quenching ont été considérées

SoftDrop grooming



Dynamical grooming



- le quenching du jet dans JEWEL réduit la valeur moyenne,
- l'ajout du recoil produit une tail qui atteint des valeurs plus importantes

- l'effet du recul est plus important que celui du quenched seul
- les distributions shift vers des valeurs plus élevées dans le cas quenching + recoil
- ces observables sont sensibles aux radiations/ background



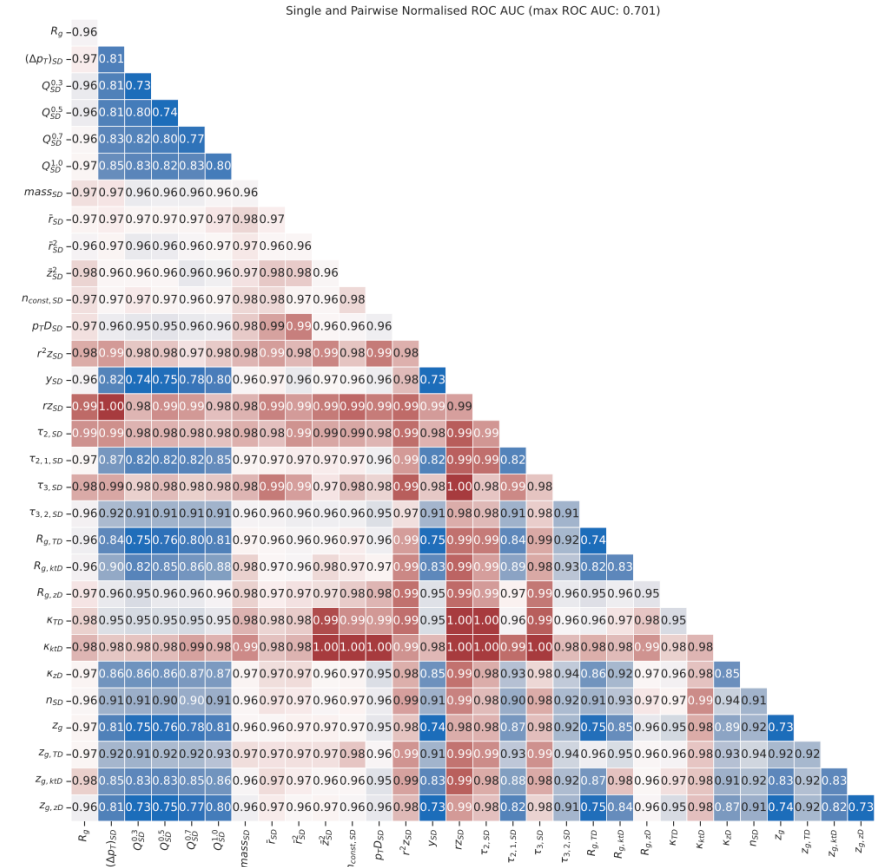
Quel est l'output de cette étude ?

Quelle observable étudier ? Ou plutôt quelle paire d'observable ?

- Partir de l'output du BDT pour se focaliser sur les observables/paires d'observ. sensibles au QGP i.e paires d'observables du type **grooming/angularities, grooming/Nsubjettiness**

Est ce que je prends des paires d'observables dont la **corrélacion** est modifiée par le quenching ou pas ?

Au final la QGP response n'a pas été étudiée plus que cela, pourtant elle modifie les distributions des jets

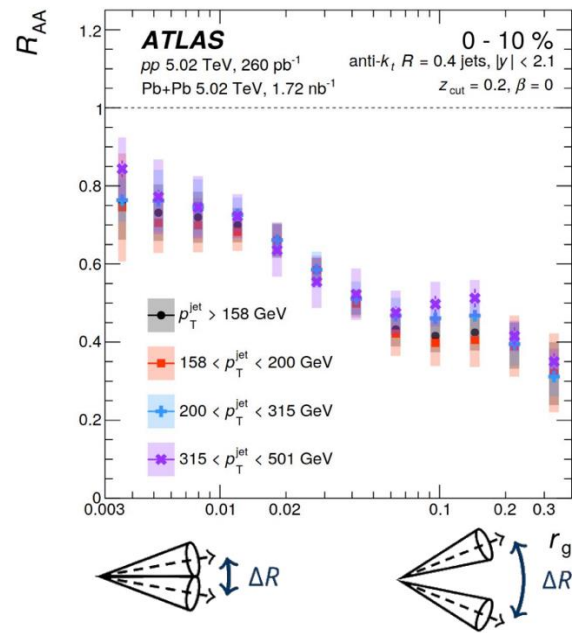


## Perspectives...

Si on part sur du grooming, plusieurs études a faire :

1) Etude du RAA, le connecter avec la sous-structure  $r_g$

<https://arxiv.org/pdf/2211.11470>

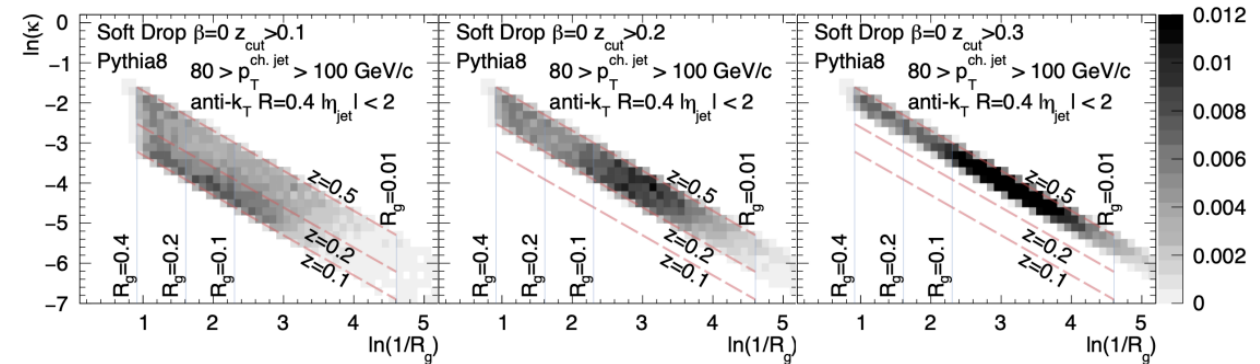


3) Rediscuter avec P.Caucal

4) Regarder Run2 converti & Run3

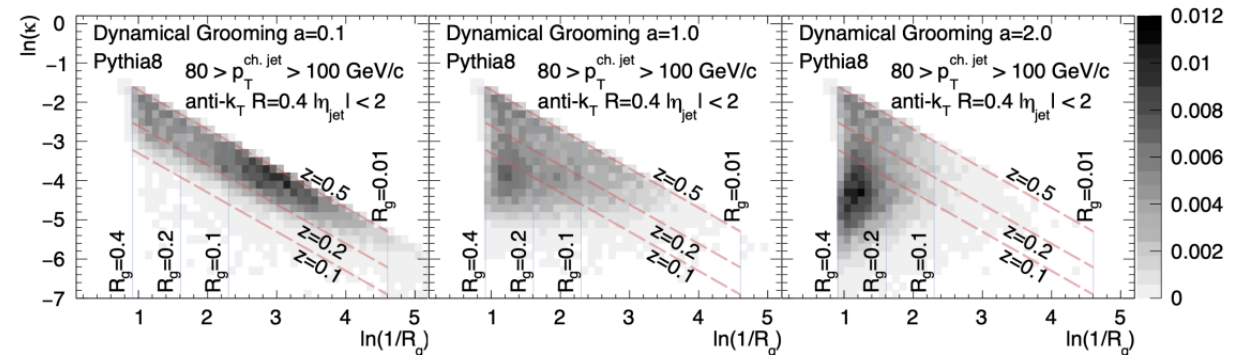
5) Faires des tests/checks pythia-root-angantyr-softdrop dans 02Physics

2) Etude du Primary Lund Plane (PLP) avec grooming



Primary Lund plane obtained with Soft Drop grooming with  $\beta = 0$  for different symmetry cut  $z_{\text{cut}}$  parameters. Left:  $z_{\text{cut}} = 0.1$ . Middle:  $z_{\text{cut}} = 0.2$ . Right:  $z_{\text{cut}} = 0.3$ .

<https://arxiv.org/pdf/2006.01812>

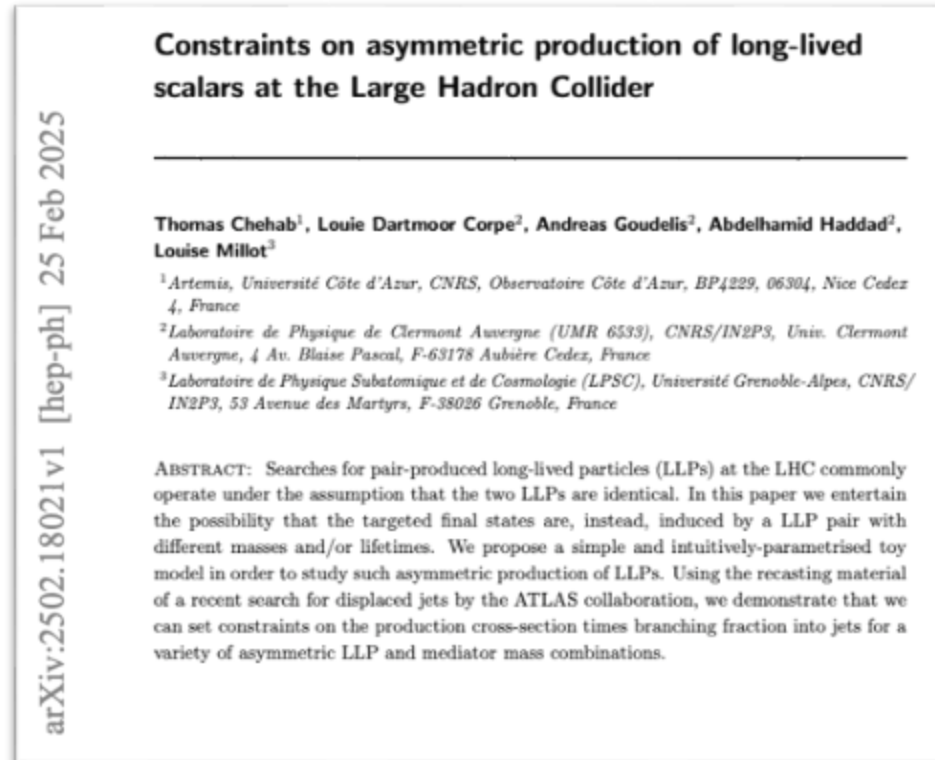


Primary Lund plane obtained with Dynamical Grooming for different values of  $a$ .  
Left:  $a = 0.1$ . Middle:  $a = 1.0$ . Right:  $a = 2.0$ .

Last but not least...

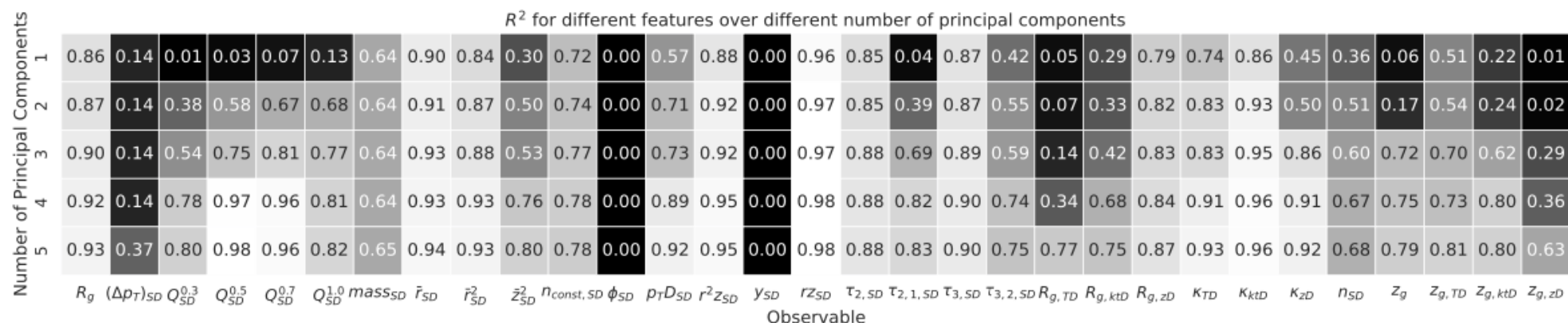
First paper submission !

Stage de M2



<https://arxiv.org/pdf/2502.18021>

## Qualité de reconstruction, R2, par observable en fonction du nombre de PCA, unquenched

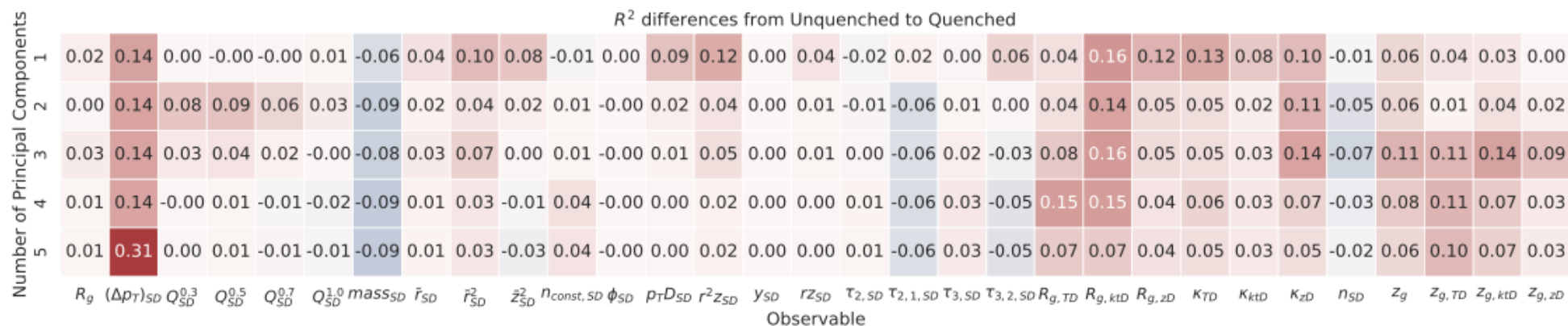


Ces variables i  
observables si

• Les 5 première  
l'information s  
observables.

• Cela signifie q  
résumé directe

## Différence dans la qualité de la reconstruction entre l'Unquenched et l'Quenched



Jusque la, on a juste la corrélation entre les observables (quenched ou unquenched), on a pas l'influence du milieu sur les observable

Sierra dataset 100 runs

