Des carquois et des systèmes intégrables

Maxime Fairon

School of Mathematics and Statistics
University of Glasgow

Université d'Angers
En ligne, 23/03/2021

Plan de l'exposé

1. Motivation
2. Systèmes intégrables à partir de carquois
3. Structures de Poisson sur les carquois
4. Vers les carquois colorés ?

Espace de Calogero-Moser (1)

$$\mathcal{M} :=\{X,Y \in \mathfrak{gl}_n(\mathbb{C}), V \in \mathrm{Mat}_{1\times n}(\mathbb{C}), W \in \mathrm{Mat}_{n\times 1}(\mathbb{C})\}$$

Action de GL_n, $g \cdot (X,Y,V,W) = (gXg^{-1}, gYg^{-1}, Vg^{-1}, gW)$

Espace de Calogero-Moser $\mathcal{C}_n := \{[X,Y] - WV = \mathrm{Id}_n\} /\!/ \mathrm{GL}_n$ [Wilson,'98]

Caractérisation sur un ouvert dense :

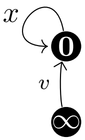
$$X = \mathrm{diag}(q_1, \dots, q_n)\,, \quad V = (1, \dots, 1)$$

d'où $W =$ $Y_{ij} =$

Hamiltonien de Calogero-Moser

$$\frac{1}{2}\,\mathrm{tr}\, Y^2 = \frac{1}{2}\sum_j p_j^2 - \sum_{i\neq j} \frac{1}{(q_i - q_j)^2}$$

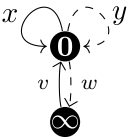
Espace de Calogero-Moser (2)



carquois Q_1

$\rightsquigarrow$

et double $\bar{Q}_1$



Algèbre des chemins $\mathbb{C}\bar{Q}_1$:

$$\mathrm{Rep}\left(\mathbb{C}\bar{Q}_1, (1,n)\right) = \{X, Y \in \mathfrak{gl}_n, V \in \mathrm{Mat}_{1\times n}, W \in \mathrm{Mat}_{n\times 1}\} = \mathcal{M}$$

$\rightsquigarrow$ L'espace de Calogero-Moser $\mathcal{C}_n$ est une *variété carquois* obtenue par réduction à partir de l'espace des représentations d'un carquois

La structure de Poisson peut se comprendre sur $\bar{Q}_1$!

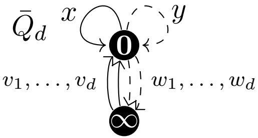
C'est aussi le cas pour l'application de moment $[X, Y] - WV$ (voir partie 3)

Plan de l'exposé

1. Motivation
2. **Systèmes intégrables à partir de carquois**
3. Structures de Poisson sur les carquois
4. Vers les carquois colorés ?

Espace de Calogero-Moser avec spin (1)

[Wilson,∼'98 ;Bielawski-Pidstrygach,'10 ; Tacchella,'15 ; Chalykh-Silantyev,'17]



$d \geq 2$. $\mathcal{M} = \mathrm{Rep}\left(\mathbb{C}\bar{Q}_d, (1, n)\right)$

espace paramétré par :
$X, Y \in \mathfrak{gl}_n$
$V_\alpha \in \mathrm{Mat}_{1\times n}, W_\alpha \in \mathrm{Mat}_{n\times 1}$

$$\mathcal{C}_{n,d} := \left\{ [X, Y] - \sum_{1\leq\alpha\leq d} W_\alpha V_\alpha = \lambda_0 \,\mathrm{Id}_n \right\} /\!/ \mathrm{GL}_n \qquad (\lambda_0 \neq 0)$$

Espace de Calogero-Moser avec d spins/degrés de liberté [Gibbons-Hermsen,'84]

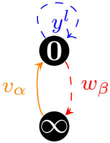
sur un ouvert dense : Y est la matrice de Lax du système CM à spin

---

Crochet de Poisson non-nul seulement entre une flèche et son double

Espace de Calogero-Moser avec spin (2)

On peut calculer sur $\mathcal{C}_{n,d}$ les crochets de Poisson de $\operatorname{tr} Y^k$ et $t^l_{\alpha\beta} = V_\alpha Y^l W_\beta$.



$$\{\operatorname{tr} Y^k, \operatorname{tr} Y^l\}_{\mathrm{P}} = 0 = \{\operatorname{tr} Y^k, t^l_{\alpha\beta}\}_{\mathrm{P}}$$

$$\{t^k_{\alpha\beta}, t^l_{\gamma\epsilon}\}_{\mathrm{P}} = \delta_{\beta\gamma} t^{k+l}_{\alpha\epsilon} - \delta_{\alpha\epsilon} t^{k+l}_{\gamma\beta}$$

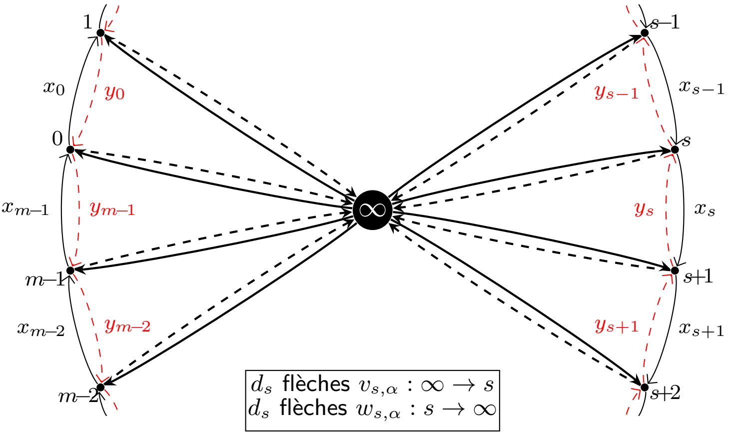
Proposition

L'algèbre commutative générée par les éléments $(\operatorname{tr} Y^k, t^k_{\alpha\alpha})$, $1 \leq \alpha \leq d$, *est Poisson commutative de dimension* nd.

On a intégrabilité au sens de Liouville des $\operatorname{tr} Y^k$.

Espaces de CM et carquois cycliques (1)

Les carquois cycliques donnent des systèmes CM [Chalykh-Silantyev,'17]
extension arbitraire dans [F.-Görbe,'21 / 2101.05520]



On s'intéresse à $\mathrm{Rep}\left(\mathbb{C}\bar{Q}_{\mathbf{d}}, (1, n, \dots, n)\right)$

Espaces de CM et carquois cycliques (2)

$\mathcal{M} = \mathrm{Rep}\left(\mathbb{C}\bar{Q}_{\mathbf{d}}, (1, n, \ldots, n)\right)$ paramétré par

$$X_s \in \mathfrak{gl}_n, \quad Y_s \in \mathfrak{gl}_n, \qquad V_{s,\alpha} \in \mathrm{Mat}_{1\times n}, \quad W_{s,\alpha} \in \mathrm{Mat}_{n\times 1}\,,$$
$$s = 0, \ldots, m-1, \qquad (s, \alpha) \text{ avec } 1 \leq \alpha \leq d_s$$

Action de $g = (g_s) \in \prod_s \mathrm{GL}_n$:
$g \cdot (X_s, Y_s, W_{s,\alpha}, V_{s,\alpha}) = (g_s X_s g_{s+1}^{-1}, g_{s+1} Y_s g_s^{-1}, g_s W_{s,\alpha}, V_{s,\alpha} g_s^{-1})\,,$

Espace de Calogero-Moser $\mathcal{C}_{n,\mathbf{d}}$: $\left(\prod_s \mathrm{GL}_n\right)$-orbites de [$(\lambda_s) \in \mathbb{C}^m$ générique]

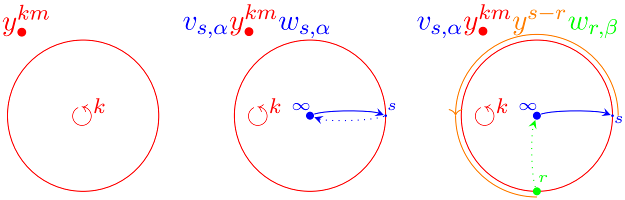
$$X_s Y_s - Y_{s-1} X_{s-1} - \sum_{1 \leq \alpha \leq d_s} W_{s,\alpha} V_{s,\alpha} = \lambda_s \, \mathrm{Id}_{n_s}\,, \quad \forall s$$

Sur ouvert dense : $\mathrm{tr}(Y_\bullet^{km})$ sont une généralisation du système CM

$\rightsquigarrow \quad \frac{1}{m}\mathrm{tr}(Y_\bullet^{km}) = \sum_{i=1}^n p_i^{mk} + \mathrm{O}(p_i^{mk-1})$

Espaces de CM et carquois cycliques (3)

En adaptant [Chalykh-Silantyev,'17], on peut “visualiser” les éléments qui permettent d'obtenir l'intégrabilité (Liouville) de ces généralisations du système CM :



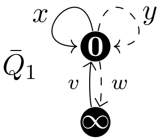
Proposition ([F.-Görbe,'21])

- *Chaque fonction* $\operatorname{tr} Y^{km}$ *est superintégrable (de manière maximale)*
- *superintégrabilité de* $\operatorname{tr}(Y^2 + \omega^2 X^2)$ *avec terme harmonique* $(m = 1, 2)$

Jusqu'à présent : cas additif $\rightsquigarrow$ variétés carquois

Autre possibilité : cas multiplicatif $\rightsquigarrow$ variétés carquois multiplicatives
[Crawley–Boevey-Shaw,'06 ;Van den Bergh,'08 ;Yamakawa,'08]

Espace de Ruijsenaars-Schneider (1)



Algèbre des chemins $\mathbb{C}\bar{Q}_1 \rightsquigarrow$ localisation A_1

ajout d'inverses pour $1+xy, 1+yx, 1+vw, 1+wv$

e.g. $(1+xy)^{-1} \in A_1$,

$$(1+xy)(1+xy)^{-1} = 1 = (1+xy)^{-1}(1+xy)$$

$$\begin{array}{ccl} \operatorname{Rep}\left(\mathbb{C}\bar{Q}_1, (1,n)\right) & = & \{X, Y \in \mathfrak{gl}_n, V \in \operatorname{Mat}_{1\times n}, W \in \operatorname{Mat}_{n\times 1}\} = \mathcal{M} \\ \cup & & \\ \operatorname{Rep}\left(A_1, (1,n)\right) & = & \{\det(\operatorname{Id}_n + XY) \neq 0,\ 1 + VW \neq 0\} =: \mathcal{M}^\circ \end{array}$$

Même action de $\operatorname{GL}_n(\mathbb{C})$ sur $\mathcal{M}^\circ \subset \mathcal{M}$

Cette fois, l'action préserve

- un *crochet de quasi-Poisson* sur $\mathcal{M}^\circ$;
- une application de moment à valeur dans $\operatorname{GL}_n(\mathbb{C})$.

Espace de Ruijsenaars-Schneider (2)

$$\mathrm{Rep}\left(\mathbb{C}\bar{Q}_1,(1,n)\right)=\{X,Y\in\mathfrak{gl}_n, V\in\mathrm{Mat}_{1\times n}, W\in\mathrm{Mat}_{n\times 1}\}=\mathcal{M}$$
$$\mathrm{Rep}\left(A_1,(1,n)\right)=\{\det(\mathrm{Id}_n+XY)\neq 0,\ 1+VW\neq 0\}=:\mathcal{M}^\circ$$

Espace de Ruijsenaars-Schneider : [Chalykh-F.,'17 /1704.05814] (aussi [Oblomkov,'04])

$$\mathcal{C}_{n,q,1}:=\{(\mathrm{Id}_n+XY)(\mathrm{Id}_n+YX)^{-1}(\mathrm{Id}_n+WV)^{-1}=q\,\mathrm{Id}_n\}/\!/\,\mathrm{GL}_n\ \ (q^k\neq 1)$$

Caractérisation sur un ouvert dense :

$$X=\mathrm{diag}(x_1,\dots,x_n)\,,\quad V=(1,\dots,1)$$

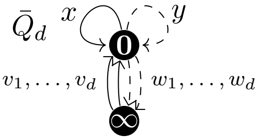
d'où $(Y+X^{-1})_{ij}=\frac{(1-q)x_j}{x_i-qx_j}\sigma_j\prod_{k\neq j}\frac{x_k-qx_j}{x_k-x_j}$

Hamiltonien de Ruijsenaars-Schneider $(x_i=e^{q_i},\sigma_i=e^{p_i})$

$$\mathrm{tr}(Y+X^{-1})=\sum_{1\leq j\leq n}\sigma_j\prod_{k\neq j}\frac{x_k-qx_j}{x_k-x_j}$$

Espace de Ruijsenaars-Schneider avec spin (1)

Cas $d \geq 2$ avec spin [Chalykh-F.,'20 / 1811.08727]



A_d localisation de $\mathbb{C}\bar{Q}_d$

$\mathcal{M}^\circ = \mathrm{Rep}\left(A_d, (1,n)\right)$
paramétré par : $X, Y \in \mathfrak{gl}_n$
$V_\alpha \in \mathrm{Mat}_{1\times n}, W_\alpha \in \mathrm{Mat}_{n\times 1}$

$$\mathcal{C}_{n,q,d} := \left\{ (\mathrm{Id}_n + XY)(\mathrm{Id}_n + YX)^{-1} \prod_{1\leq\alpha\leq d}^{\longrightarrow} (\mathrm{Id}_n + W_\alpha V_\alpha)^{-1} = q\,\mathrm{Id}_n \right\} /\!/ \,\mathrm{GL}_n$$

Espace de Ruijsenaars-Schneider avec d spins/degrés de liberté

Espace de Ruijsenaars-Schneider avec spin (2)

$$\mathcal{C}_{n,q,d} := \left\{ (\mathrm{Id}_n + XY)(\mathrm{Id}_n + YX)^{-1} \overrightarrow{\prod_{1\leq\alpha\leq d}} (\mathrm{Id}_n + W_\alpha V_\alpha)^{-1} = q\,\mathrm{Id}_n \right\} /\!/ \,\mathrm{GL}_n$$

Fixons $Z := Y + X^{-1}$

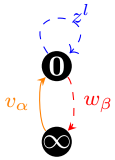
Proposition ([Chalykh-F.,'20])

Sur un ouvert de $\mathcal{C}_{n,q,d}$, il existe des coordonnées locales telles que

- *les équations du mouvement associées à l'Hamiltonien $\mathrm{tr}(Z)$ reproduisent les équations du système RS trig. avec spin de [Krichever-Zabrodin,'95] ;*
- *la matrice Z est la matrice de Lax de ce système ;*
- *le crochet de Poisson écrit en terme des coordonnées locales permet de prouver une conjecture de [Arutyunov-Frolov,'98].*

Espace de Ruijsenaars-Schneider avec spin (3)

On dénote $t^l_{\alpha\beta} = V_\alpha Z^l W_\beta$, $Z = Y + X^{-1}$



$$\{\operatorname{tr} Z^k, \operatorname{tr} Z^l\}_{\mathrm{P}} = 0 = \{\operatorname{tr} Z^k, t^l_{\alpha\beta}\}_{\mathrm{P}}$$

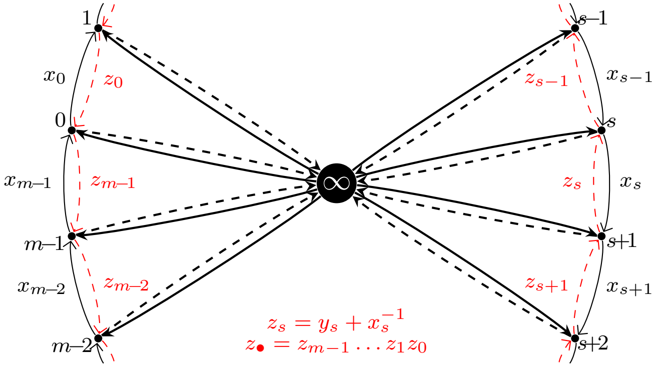
$$\{t^k_{\alpha\beta}, t^l_{\gamma\epsilon}\}_{\mathrm{P}} = \text{compliqué !}$$

Proposition ([Chalykh-F.,'20])

L'algèbre commutative générée par les éléments $(\operatorname{tr} Z^k, t^k_{\alpha\beta})$, $1 \leq \alpha, \beta \leq d$, *est une algèbre de Poisson de dimension* $2nd - n$, *dont le centre a dimension* n *et contient les* $(\operatorname{tr} Z^k)$.

On a intégrabilité dégénérée/non-commutative des $\operatorname{tr} Z^k$.

Espaces de RS et carquois cycliques



Proposition

Pour le vecteur dimension $(1, n, \dots, n)$ et des paramètres (q_s) génériques, on a l'intégrabilité (dégénérée/de Liouville) des $\operatorname{tr} Z_\bullet^k$, $k = 1, \dots, n$.

voir [Chalykh-F.,'17 ;F.,'19] et [F.,PhD thesis] (ETHESES.WHITEROSE.AC.UK/24498/) pour le cas général

Plan de l'exposé

1. Motivation
2. Systèmes intégrables à partir de carquois
3. **Structures de Poisson sur les carquois**
4. Vers les carquois colorés ?

Géométrie de Poisson non-commutative (1)

$$
\begin{array}{ccc}
\text{Algèbre } A & \dashrightarrow & \text{Algèbre comm. } \mathbb{C}[\mathrm{Rep}(A,n)] \\
\text{sur } \mathbb{C} & & \text{espace} \rightsquigarrow \mathrm{Rep}(A,n) \text{ (ci-dessous)} \\
\downarrow & & \downarrow \\
A^\lambda := A/(\mu-\lambda) & \dashrightarrow & \text{Algèbre comm. } \mathbb{C}[\mathrm{Rep}(A^\lambda,n)] \\
\mu\in A,\ \lambda\in\mathbb{C} & & \text{espace} \rightsquigarrow \{(\mu_{ij})=\lambda\,\mathrm{Id}_n\} \\
\downarrow & & \downarrow \\
\text{espace vect. } A^\lambda/[A^\lambda,A^\lambda] & \dashrightarrow & \text{Algèbre comm. } \mathbb{C}[\mathrm{Rep}(A^\lambda,n)]^{\mathrm{GL}_n} \\
 & & \text{espace} \rightsquigarrow \mathrm{Rep}(A^\lambda,n)/\!/\,\mathrm{GL}_n
\end{array}
$$

$\mathbb{C}[\mathrm{Rep}(A,n)]$ générée par symboles a_{ij}, $\forall a\in A$, $1\leq i,j\leq n$.
Règles : $1_{ij}=\delta_{ij}$, $(a+b)_{ij}=a_{ij}+b_{ij}$, $(ab)_{ij}=\sum_k a_{ik}b_{kj}$.

$\mathbb{C}[\mathrm{Rep}(A,n)]^{\mathrm{GL}_n}$ générée par $\mathrm{tr}(a)$, $a\in A$

Géométrie de Poisson non-commutative (2)

$$\begin{array}{ccc}
\begin{array}{c}\text{Algèbre } A \\ \text{crochet de Poisson double } \{\!\{-,-\}\!\} \\ \text{applic. de moment NC } \mu\end{array} & \dashrightarrow & \begin{array}{c}\text{Algèbre comm. } \mathbb{C}[\mathrm{Rep}(A,n)] \\ \text{crochet de Poisson } \{-,-\}_{\mathrm{P}} \\ \text{applic. de moment } (\mu_{ij})\end{array} \\
\downarrow & & \downarrow \\
\begin{array}{c}\text{espace vect. } A^\lambda/[A^\lambda,A^\lambda] \\ \text{crochet de Lie } m\circ\{\!\{-,-\}\!\}\end{array} & \dashrightarrow & \begin{array}{c}\text{Algèbre comm. } \mathbb{C}[\mathrm{Rep}(A^\lambda,n)]^{\mathrm{GL}_n} \\ \text{crochet de Poisson } \{-,-\}_{\mathrm{P}}\end{array}
\end{array}$$

Un crochet double est une application $\mathbb{C}$-bilinéaire $\{\!\{-,-\}\!\} : A\times A \to A^{\otimes 2}$ t.q.

1. $\{\!\{a,b\}\!\} = -\tau_{(12)}\ \{\!\{b,a\}\!\}$ (antisymétrie)
2. $\{\!\{a,bc\}\!\} = (b\otimes 1)\{\!\{a,c\}\!\} + \{\!\{a,b\}\!\}(1\otimes c)$ (dérivation extérieure)
3. $\{\!\{ad,b\}\!\} = (1\otimes a)\{\!\{d,b\}\!\} + \{\!\{a,b\}\!\}(d\otimes 1)$ (dérivation intérieure)

Le crochet double est Poisson si “Jacobi double” [Van den Bergh,'08]

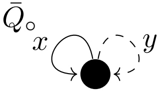
Crochet de Poisson induit : $\{a_{ij},b_{kl}\}_{\mathrm{P}} = \{\!\{a,b\}\!\}'_{kj}\ \{\!\{a,b\}\!\}''_{il}$ [Van den Bergh,'08]

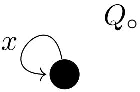
Quel rapport avec le reste de l'exposé ?

[Van den Bergh,'08] : crochet de Poisson double sur $A = \mathbb{C}\bar{Q}$, $\forall$ carquois Q

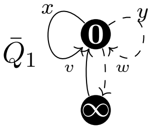
Exemple

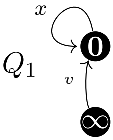
$$A = \mathbb{C}\langle x, y\rangle$$
$$= \mathbb{C}\bar{Q}_\circ$$





Les données $\{\!\{x, x\}\!\} = 0 = \{\!\{y, y\}\!\}$, $\{\!\{x, y\}\!\} = 1 \otimes 1$, $\mu_A = xy - yx$ sont définies sur $\mathbb{C}\bar{Q}_\circ$ (à partir de $Q_\circ$) et encodent le crochet de Poisson des variétés carquois associées.





Exemple initial...
Attachons $\mathbb{C}^n$ à 0, $\mathbb{C}$ à ∞
$\Rightarrow$ espace de Calogero-Moser [Wilson,'98]
$\left(\mathrm{tr}(Y^k) := \mathrm{tr}(y_{ij})^k\right)_{k=1}^n$ commutent

Géométrie de quasi-Poisson non-commutative

$$
\begin{tikzcd}
\begin{array}{c}\text{Algèbre } A \\ \text{crochet de quasi-Poisson double } \{\!\{-,-\}\!\} \\ \text{applic. de moment NC } \Phi \in A^\times\end{array} \arrow[r, dashed] \arrow[d] & \begin{array}{c}\text{Algèbre comm. } \mathbb{C}[\mathrm{Rep}(A,n)] \\ \text{crochet de quasi-Poisson } \{-,-\}_{\mathrm{P}} \\ \text{applic. de moment } (\Phi_{ij}) \text{ (dans } \mathrm{GL}_n\text{)}\end{array} \arrow[d] \\
\begin{array}{c}\text{espace vect. } A^q/[A^q,A^q] \\ \text{crochet de Lie } m \circ \{\!\{-,-\}\!\}\end{array} \arrow[r, dashed] & \begin{array}{c}\text{Algèbre comm. } \mathbb{C}[\mathrm{Rep}(A^q,n)]^{\mathrm{GL}_n} \\ \text{crochet de Poisson } \{-,-\}_{\mathrm{P}}\end{array}
\end{tikzcd}
$$

$A^q = A/(\Phi - q)$ pour $q \in \mathbb{C}^\times$

[Van den Bergh,'08] : crochet de quasi-Poisson double sur $A = \mathbb{C}\bar{Q}_{(1+aa^*)_{a\in\bar{Q}}}$

Plan de l'exposé

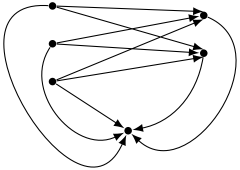
1. Motivation
2. Systèmes intégrables à partir de carquois
3. Structures de Poisson sur les carquois
4. **Vers les carquois colorés ?**

Carquois colorés (1)

Les carquois colorés sont introduits par Boalch [Boalch,'15]
Motivation : variétés de caractères sauvages $\rightsquigarrow$ "graphe supernova"

Définition

Un carquois Υ est coloré s'il existe une fonction couleur $\mathrm{c} : \Upsilon \to C$ telle que
– $\Upsilon_c := \mathrm{c}^{-1}(c)$ est un graphe k-parti complet
– l'orientation des flèches de Υ_c "respecte" les parties



Exemple 1

Graphe complet $(3, 2, 1)$
(monochromatique)

Exemple 2 : carquois arbitraire Q, sans boucle
prendre la couleur $\mathrm{c} = id_Q$ ($\rightsquigarrow$ $\sharp$couleurs $= \sharp$flèches)

Carquois colorés (2)

Soit Υ un carquois coloré.
L'*algèbre de Boalch* $\mathcal{B}(\Upsilon)$ est une algèbre obtenue par localisation de $\mathbb{C}\bar{\Upsilon}$

Remarque : $\exists \gamma_s : s \to s$ pour chaque sommet s

Si les flèches de Υ ont des couleurs distinctes 2-à-2, $\mathcal{B}(\Upsilon) = \mathbb{C}\bar{\Upsilon}_{(1+aa^*)_{a\in\bar{\Upsilon}}}$

Définition ([Boalch,'15])

Fixons un ordre sur les couleurs à chaque sommet $s \in I$.
L'*algèbre de fission* (avec param. $q \in (\mathbb{C}^\times)^I$) est $\mathcal{F}^q(\Upsilon) := \mathcal{B}(\Upsilon)/R_q$,
où R_q est l'idéal généré par les $|I|$ éléments

$$\gamma_s - q_s e_s \ \in e_s \mathcal{B}(\Upsilon) e_s, \quad s \in I\,.$$

Conjecture (1)

Théorème ([Boalch,'15])

Formons la variété des représentations $\mathrm{Rep}\left(\mathcal{F}^q(\Upsilon), (n_s)\right)$*, où chaque* e_s *est représenté par la matrice identité sur* $\mathbb{C}^{n_s}$*,* $s \in I$*.*
La partie lisse $\mathcal{M}^{st}(\Upsilon, q, (n_s)) \subset \mathrm{Rep}\left(\mathcal{F}^q(\Upsilon), (n_s)\right)/\!/\prod_s \mathrm{GL}_{n_s}(\mathbb{C})$ *est une variété symplectique obtenue par réduction quasi-Hamiltonienne.*

$\rightsquigarrow$ variété carquois multiplicative généralisée

Conjecture ([F.-Fernández,'21 / 2103.10117])

L'algèbre de Boalch $\mathcal{B}(\Upsilon)$ *est équipée d'un crochet de quasi-Poisson double tel que l'élément* $\sum_{s\in I} \gamma_s$ *est son application de moment (non-comm.).*

$\rightsquigarrow$ La variété $\mathrm{Rep}\left(\mathcal{F}^q(\Upsilon), (n_s)\right)/\!/\prod_s \mathrm{GL}_{n_s}(\mathbb{C})$ admet une structure de Poisson obtenue par réduction quasi-Hamiltonienne à partir de $\mathrm{Rep}\left(\mathcal{B}(\Upsilon), (n_s)\right)$.

Conjecture (2)

Conjecture ([F.-Fernández,'21])

L'algèbre de Boalch $\mathcal{B}(\Upsilon)$ est équipée d'un crochet de quasi-Poisson double tel que l'élément $\sum_{s\in I}\gamma_s$ est son application de moment (non-comm.).

- Il suffit de prouver le cas d'un carquois monochromatique : $\mathrm{c} : \Upsilon \to \{*\}$
- Vrai pour $1 \to 2$ (conséquence de [Van den Bergh,'08])
- Vrai pour Δ [F.-Fernández,'21]

Les carquois suivant sont *monochromatiques* et cycliques :

Peuvent-ils être utilisés pour trouver de nouveaux systèmes RS ?

Merci pour votre attention !

Maxime Fairon
Maxime.Fairon@glasgow.ac.uk
https://www.maths.gla.ac.uk/∼mfairon/