



**HAL**  
open science

## Évaluation IRM de l'hydratation des disques intervertébraux lombaires non pathologiques dans une population pédiatrique

Manon Bolzinger, Erik Estivalèzes, Adeline Gallini, Eva Polirsztok, Kariman Abelin-Genevois, Christiane Baunin, Jérôme Sales de Gauzy, Pascal Swider

► **To cite this version:**

Manon Bolzinger, Erik Estivalèzes, Adeline Gallini, Eva Polirsztok, Kariman Abelin-Genevois, et al.. Évaluation IRM de l'hydratation des disques intervertébraux lombaires non pathologiques dans une population pédiatrique. *Revue de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique*, 2020, 106, pp.794 - 798. 10.1016/j.rcot.2020.06.017 . hal-03493487

**HAL Id: hal-03493487**

**<https://hal.science/hal-03493487v1>**

Submitted on 21 Nov 2022

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial 4.0 International License

Mémoire original

## **Évaluation IRM de l'hydratation des disques intervertébraux lombaires non pathologiques dans une population pédiatrique**

### **MRI evaluation of the hydration status of non-pathological lumbar intervertebral discs in a pediatric population**

Manon **Bolzinger**<sup>1,2</sup>, Erik **Estivalèzes**<sup>1</sup>, Adeline **Gallini**<sup>3</sup>, Eva **Polirsztok**<sup>4</sup>, Kariman **Abelin-Genevois**<sup>5</sup>, Christiane **Baunin**<sup>2</sup>, Jérôme **Sales de Gauzy**<sup>1,2</sup>, Pascal **Swider**<sup>1</sup>

<sup>1</sup>IMFT UMR 5502 CNRS, Toulouse, France

<sup>2</sup>Hopital des enfants, Toulouse, France

<sup>3</sup>UMR 1027 INSERM Toulouse 3, France

<sup>4</sup>Hopital universitaire de Nancy, France

<sup>5</sup>CMCR des Massues, Lyon, France

#### **Auteur correspondant :**

Dr Manon Bolzinger

Hôpital des Enfants

30 Avenue de Grande Bretagne, 70034 –

Toulouse, 31059

FRANCE

manon.bolzinger@outlook.fr

Ne pas utiliser, pour citation, la référence française de cet article, mais celle de l'article original paru dans *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, en utilisant le DOI ci-dessus.

## **Résumé**

Introduction : Le disque intervertébral (DIV) est formé par l'annulus fibrosus (AF) et le nucleus pulposus (NP) complexe inerte hydraté. La capacité de déformation du DIV, corrélée à celle du NP, dépend de son hydratation. Quand le DIV vieillit, son hydratation diminue, ainsi que ses capacités de déformation. Dans la scoliose idiopathique de l'adolescent, une des hypothèses étiologiques repose sur le DIV, étudié pour le diagnostic et le suivi de cette pathologie.

Hypothèse : l'hydratation du DIV dépend du genre, de l'âge et du niveau du segment rachidien dans une population pédiatrique asymptomatique. Le corollaire est d'établir un groupe contrôle de patients sains.

Matériel et méthodes : Une cohorte de patients avec une IRM rachidienne normale a été incluse : 98 patients, âge moyen 13.3 ans. L'évaluation des volumes des disques et de l'hydratation de chaque DIV a été effectuée à partir de séquences IRM T2, en utilisant un logiciel de traitement d'images validé. L'étude portait sur la colonne lombaire, de la jonction thoraco-lombaire à la jonction lombo-sacrée. Il a été admis que l'hydratation du DIV était liée au ratio des volumes NP et AF. Une analyse linéaire mixte multivariée a été utilisée pour explorer le rôle de l'âge, du genre et du niveau segmentaire, sur l'hydratation des disques.

Résultats : L'hydratation du groupe des garçons était globalement plus élevée que celle du groupe des filles sans différence significative. L'hydratation augmentait avec l'âge (+0.005 pour chaque année supplémentaire,  $p=0.0213$ ). L'hydratation des DIV semblait plus importante au niveau thoraco-lombaire comparé au niveau lombaire, mais sans différence statistiquement significative.

Conclusion : Nous avons établi une base de données incluant l'hydratation de disques lombaires non pathologiques à partir d'IRM, selon l'âge, le sexe et le niveau du segment, avec des intervalles de confiance à 95%.

**Niveau de preuve: IV**

**Mots clés:** Disques intervertébraux, orthopédie pédiatrique, IRM, traitement d'image.

## **I – Introduction**

L'homéostasie du segment vertébral est associée à des transports en diffusion entre le disque intervertébral (DIV) et le corps vertébral adjacent à travers la plaque cartilagineuse [1]. A l'âge adulte, le DIV est une structure avasculaire, dans laquelle les liquides passent du nucleus pulposus (NP) (complexe hydraté) vers une structure laminaire périphérique, l'annulus fibrosus (AF). La vascularisation du disque évolue progressivement avec la croissance pour s'estomper en fin de croissance du tronc à l'âge pré-adulte.

L'hydratation du DIV dépend de son contenu en protéoglycannes. Dans des conditions physiologiques, des échanges de liquides et de protéines ont lieu par mécanotransduction, impliquant l'hydrostatisme et des pressions osmotiques cycliques associées au rythme nyctéméral [2,3]. La composition et l'organisation de la matrice extracellulaire du DIV détermine ses propriétés biomécaniques. Elles varient selon l'âge, l'état physiologique et la situation dans le rachis. La perte d'eau est un des premiers signes de DIV pathologique [4].

Notre étude porte sur une population pédiatrique qui servira de contrôle pour l'étude de la scoliose idiopathique chez les enfants. Parmi les facteurs étiologiques multiples de la SIA, une des hypothèses repose sur le DIV, étudié pour le diagnostic et le suivi de cette pathologie par IRM [5,6,7]. Après une arthrodèse postérieure, la réaction des disques sous l'instrumentation soumis à des contraintes supplémentaires est liée au niveau de l'instrumentation et au nombre de niveaux fusionnés [8,9]. Une étude pionnière [10] suggère une distinction en trois groupes selon la composition de la matrice extracellulaire du DIV et son hydratation: avant 5 ans, entre 25 et 40 ans, entre 40 et 80 ans. Une étude complémentaire [11] suggère que la maturation des DIV lombaires est en relation avec une augmentation de l'hydratation.

Notre hypothèse stipule qu'entre l'âge de 7 et 20 ans, l'hydratation d'un DIV non pathologique dépend du genre, de l'âge et du niveau du segment.

Notre but est de déterminer les relations entre l'hydratation d'un DIV lombaire, le genre, l'âge et le niveau vertébral concerné dans une population pédiatrique sans pathologie du rachis. Secondairement, nous désirons réaliser des courbes de prédictions de l'hydratation des DIV lombaires selon le genre, l'âge et le niveau rachidien concerné dans une population pédiatrique.

## **II – Matériel and Méthodes**

### **Recrutement des patients**

Il s'agit d'une étude rétrospective, incluant consécutivement une cohorte de 98 patients (50% de filles), d'âge moyen de 13.3 ans (DS=2.92) ayant eu une IRM montrant un rachis considéré comme normal durant deux années au CHU de Toulouse (04/2015-04/2017). Tous les patients ont fait une IRM pour un diagnostic urologique, neurologique, ou une douleur lombaire. L'étude portait sur la colonne lombaire, de la jonction thoracolombaire à la jonction lombo-sacrée. Les acquisitions ont été réalisées en séquence T2 dans le plan sagittal avec des coupes consécutives (15 à 20 coupes par patient). Le DIV était représenté sur une dizaine de coupes consécutives. La référence de la machine était Philips Achieva X-series 3.0 T.

Les critères d'inclusion étaient : âge compris entre 7 et 20 ans inclus, et absence de pathologie du rachis ou de trouble de la posture rachidienne diagnostiquée sur l'IRM après lecture de l'examen par un spécialiste de l'imagerie pédiatrique.

### **Propriétés des volumes du disque**

La détection et la segmentation automatique des DIV sur IRM demeure non totalement résolue malgré des progrès effectifs [12,13]. Le procédé utilisé impliquait un logiciel de

traitement d'image Biomechlab® précédemment validé par des études cliniques [5,6,14], développé dans l'environnement Matlab (Mathworks ®). Après décodage automatique des images DICOM, les propriétés des volumes du disque étaient extrapolées en utilisant une détection semi-automatique des contours externes de AF et NP. Le protocole était répété sur chaque coupe sagittale par un chirurgien spécialiste. Chaque disque était représenté sur 10 coupes adjacentes en moyenne. La segmentation et la reconstruction 3D des DIV à partir de l'IRM sont représentées en figure 1. Les disques T12-L1 à L5-S1 ont été explorés. Anatomiquement, le NP est identifié comme étant un tissu proche d'un fluide visqueux, très hydraté, apparaissant en hyper signal en T2. La segmentation 2D des coupes IRM et la reconstruction 3D ont permis de définir le critère d'hydratation du disque comme étant le rapport entre le volume du NP et celui de l'AF. La teneur en eau est concentrée dans le NP qui diminue en volume lorsque le DIV se déshydrate alors que le volume du DIV reste stable. La relation entre l'hydratation du DIV et le rapport des volumes NP / DIV est anatomiquement fiable.

### **Modèle statistique**

Pour l'analyse statistique, un modèle linéaire mixte multivarié a été utilisé pour prendre en compte la variation interindividuelle des patients. Nous désirons déterminer un modèle de l'hydratation selon le niveau rachidien ( $T_{12}$ - $L_1$  à  $L_5$ - $S_1$ ), le genre (garçon ou fille) et l'âge. Ce groupe d'âge correspond à la période d'évolutivité de la SIA [15,16]. La significativité des résultats est déterminée par  $p < 0.05$ .

Un modèle statistique générique de la distribution de l'hydratation de la DIV a été proposé en fonction de l'âge, du genre et du niveau de segment. Douze modèles ont été proposés avec un intervalle de confiance de 95 %.

### **III - Résultats**

Le tableau 1 résume les valeurs brutes des propriétés du volume du disque à partir de la segmentation des images d'IRM par niveau de segment et pour l'ensemble de la cohorte ( $n = 98$ ). Les volumes moyens de DIV et de NP étaient respectivement de 8973 mm<sup>3</sup> et 2823 mm<sup>3</sup>. L'hydratation moyenne était de 0,335. Les résultats sont illustrés à la figure 2.

Le tableau 2 résume l'analyse statistique de l'hydratation par âge, genre et segment correspondant au modèle linéaire mixte multivarié.

Le disque T12-L1 a été considéré comme une référence pour étudier l'influence du niveau segmentaire. L'hydratation des niveaux inférieurs a toujours été plus faible, différence non significative ( $0,1 \leq p \leq 0,8$ ). De plus, l'hydratation a diminué le long de la colonne vertébrale, mais sans signification statistique ( $p = 0,4915$ ).

En ce qui concerne le genre, le groupe des hommes a été pris comme référence. Le groupe des filles a montré une hydratation plus faible avec une diminution moyenne de -0,0158 mais sans signification statistique ( $p = 0,21$ ).

Un modèle générique statistique de la population a été proposé à partir d'une régression linéaire avec des intervalles de confiance de 95%. Les variations de l'hydratation selon l'âge, le genre et le niveau segmentaire ont été proposées figure 3. Les modèles de régression linéaire ont montré une augmentation pour le groupe des garçons sans dépendance à l'égard du niveau de segment et légèrement supérieure à celle du groupe des filles. Pour les segments du groupe féminin, T12-L1 et L5-S1 n'ont montré aucune dépendance à l'âge et un impact très faible pour les disques L1-L2 à L4-L5.

La méthodologie a permis de proposer des intervalles de prédiction de l'hydratation des DIV. Comme prévu, ils ont montré une plus grande variation en raison de l'incertitude supplémentaire due à la prédiction d'une valeur individuelle.

## **IV – Discussion**

L'hypothèse centrale, assumant la dépendance de l'hydratation au genre, à l'âge et au niveau segmentaire a été partiellement validée. L'influence du genre n'était pas clairement significative bien que le groupe des filles montrât des valeurs inférieures. Les deux populations étaient comparables en âge : moyenne d'âge des filles 13.37 ans (7-18,6 ans), moyenne d'âge des garçons 13.31 ans (7-19,2 ans). Cette tendance à la différence selon le genre pourrait être un argument d'implication du DIV dans la genèse de la SIA, plus fréquente chez les filles. Cet argument nécessite plus d'exploration, notamment des DIV au niveau thoracique, car cette étude portait sur le rachis lombaire alors que la SIA est thoracique à convexité droite.

L'influence du niveau segmentaire a été étudiée. Les segments thoraco-lombaires présentaient une hydratation supérieure, mais ce résultat reste une tendance non significative. L'hydratation augmentait avec l'âge et semblait se stabiliser chez les patients les plus âgés de cette cohorte. Une augmentation de 0.005 du ratio NP/AF chaque année d'âge supplémentaire a été observée sur l'intégralité de la cohorte.

L'histologie montre que les DIV sont une structure particulière, dont le rôle est étroitement lié aux cartilages adjacents. Les cellules chondrocytes-like du NP produisent un collagène de type 2, alors que les cellules chondrocytes-like du cartilage et de l'AF produisent des collagènes de type 1 et 2 [17]. Contrairement à l'âge adulte, durant la première décennie de vie, on remarque la présence de vaisseaux sanguins dans l'AF et le cartilage adjacent. Leur nombre décroît progressivement [17]. Le contenu en eau dépend de la présence de protéoglycannes et des fibres de collagène formant un maillage rétentif [10,18]. Les protéoglycannes et l'eau d'un côté, et les fibres de collagène de l'autre, sont distribuées en opposition dans le DIV. Les premières augmentent alors que le collagène diminue de la périphérie vers le NP. On retrouve dans la littérature une différenciation entre la maturation et la dégénérescence, séparant des processus d'évolution avant 10 ans et après 20 ans [19]. L'hydratation des DIV lombaires augmente avec la maturation pendant les deux premières décennies [11] puis diminue après 25 ans. L'hydratation d'un DIV est plus importante entre 2 et 5 ans, puis diminue après 25 ans [10], mais les données concernant les âges intermédiaires sont manquantes. Dans cette population pédiatrique symptomatique, une augmentation de l'hydratation entre 7 et 20 ans a été observée. Ces résultats devraient être applicables à la population d'enfants de 5 à 11 ans, cependant aucune IRM de rachis normal chez de jeunes enfants n'a pu être analysée.

L'homéostasie du segment est due aux transports de masse entre le disque et les corps vertébraux à travers les plaques terminales vertébrales. La vascularisation du disque évolue progressivement depuis l'enfance jusqu'à disparaître à l'âge pré-adulte. Le disque présente de bonnes propriétés cliniques et mécaniques lorsque ces échanges sont bien établis. Le NP est très hydraté par rapport à l'AF. Par conséquent, l'exploration du rapport entre le volume de NP et le volume de DIV peut être considérée comme un indice de l'hydratation du disque et finalement elle peut être représentative de la santé du segment. En milieu clinique, l'hydratation est accessible par des séquences d'IRM. Dans le suivi des scoliozes, l'association de l'IRM à l'hydratation discale permet d'explorer le comportement poro-mécanique des segments et peut guider la décision clinique (localisation et extension de l'instrumentation) et sa restauration post-opératoire pourrait fournir un indice permettant de prédire les complications cliniques ultérieures.

Cette étude est originale, mais présente certaines limites. La plupart des patients avaient une IRM pour un diagnostic urologique ou neurologique, mais 14% des patients de la cohorte ont eu une IRM pour exploration de lombalgies. Une pathologie du rachis a été infirmée par la lecture de l'imagerie par un radiologue spécialisé.

Comme il s'agit d'une étude rétrospective, l'heure de réalisation de l'IRM n'était pas contrôlée. Les acquisitions étaient généralement faites le matin pour éviter l'influence des activités quotidiennes. Cependant ce paramètre non contrôlé peut être considéré comme une randomisation favorable à la fiabilité des résultats. Toutes les données concernant nos patients n'ont pas pu être récupérées, notamment les données morphologiques telles que la cyphose, la lordose ou l'incidence pelvienne propre à chaque patient [19,20]. La maturité ainsi que le statut pubertaire restaient inconnus. Malgré ces limites, la taille de cette cohorte (98 examens), est acceptable, compte tenu des difficultés à la création d'une base de données pédiatriques.

## **V – Conclusion**

La description des propriétés d'hydratation des DIV dans une population pédiatrique sans pathologie du rachis durant le pic de croissance est originale. Un groupe contrôle est proposé pour les études cliniques pour la première fois à notre connaissance. Le modèle générique établi en fonction du sexe, de l'âge et du niveau de segment était au cœur de l'étude. Il pourrait représenter une base de données contrôle pour l'étude du rôle des DIV dans l'évolutivité des courbures et la stabilité du rachis chez des adolescents atteints de SIA.

## **Remerciements**

Nous remercions la Sofcot (France) pour la bourse attribuée à Manon Bolzinger et la Fondation Cotrel (Institut de France) pour son support constant à la recherche sur la scoliose idiopathique. Nous remercions également Jérôme Briot PhD, développeur du logiciel de traitement d'image Biomechlab®, pour son soutien efficace.

**Conflits d'intérêt :** aucun.

**Sources de financement :** bourse Master de la SOFCOT.

## **Contribution des auteurs:**

- Contribution au travail de recherche (M. Bolzinger, E. Estivalèzes, J. Sales de Gauzy, P. Swider), acquisition des données (C. Baunin), analyse ou interprétation des données (M. Bolzinger, E. Estivalèzes, E. Polirsztok, K. Abelin-Genevois, A. Gallini, P. Swider)
- Rédaction de l'article ou relecture critique (M. Bolzinger, E. Estivalèzes, A. Gallini, J. Sales de Gauzy, P. Swider)
- Validation de la version soumise (M. Bolzinger, J. Sales de Gauzy, P. Swider)

## VI- Références :

1. Urban JP, Smith S, Fairbank JC. Nutrition of the intervertebral disc. *Spine* 2004 ;23 :2700-9.
2. Setton LA, Chen J. Mechanobiology of the intervertebral disc and relevance to disc degeneration. *J Bone Joint Surg Am* 2006; 88 (Suppl 2):52-7.
3. Henriksson H, Thornemo M, Karlsson C. Identification of cell proliferation zones, progenitor cells and a potential stem cell niche in the intervertebral disc region: a study in four species. *Spine* 2009; 34:2278-87.
4. Benneker LM, Heini PF, Anderson SE. Correlation of radiographic and MRI parameters to morphological and biochemical assessment of intervertebral disc degeneration. *Eur Spine J* 2005 ;14 :27-35.
5. Violas P, Estivalèzes E, Pédrono A, *et al.* A method to investigate intervertebral disc morphology from MRI in early idiopathic scoliosis: a preliminary evaluation in a group of 14 patients. *Magn Reson Imaging* 2005 ;23 : 475–79.
6. Abelin-Genevois K, Estivalèzes E, Briot J, *et al.* Spino-pelvic alignment influences disc hydration properties after AIS surgery: a prospective MRI-based study. *Eur Spine J* 2015;24: 1183–90.
7. Waldenberg C, Hebelka H, Brisby H, *et al.* MRI histogram analysis enables objective and continuous classification of intervertebral disc degeneration. *Eur Spine J* 2018;27:1042-48.
8. Green DW, Lawhorne TW 3<sup>rd</sup>, Widmann RF, *et al.* Long-term magnetic resonance imaging follow-up demonstrates minimal transitional level lumbar disc degeneration after posterior spine fusion for adolescent idiopathic scoliosis. *Spine* 2011;36:1948-54.
9. Pesenti S, Jouve JL, Morin C, *et al.* Evolution of adolescent idiopathic scoliosis: results of a multicenter study at 20 years' follow-up. *Orthop Traumatol Surg Res* 2015 ;101 :619-22.
10. Antoniou J, Steffen T, Nelson F, *et al.* The human lumbar intervertebral disc: evidence for changes in the biosynthesis and denaturation of the extracellular matrix with growth, maturation, ageing, and degeneration. *J Clin Invest* 1996;98: 996–1003.
11. Krueger EC, Perry JO, Wu Y, *et al.* Changes in T2 relaxation times associated with maturation of the human intervertebral disk. *Am J Neuroradiol* 2007;28: 1237–41.
12. Zheng G, Chu C *et al.* Evaluation and comparison of 3D intervertebral disc localization and segmentation methods for 3D T2 MR data: a grand challenge. *Med Image Anal* 2017 ;35 : 327-44.
13. Gervais J, Périé D, Parent S *et al.* MRI signal distribution within the intervertebral disc as a biomarker of adolescent idiopathic scoliosis and spondylolisthesis. *BMC Musculoskelet Disord.* 2012 ;13:239.
14. Violas P, Estivalèzes E, Briot J *et al.* Quantification of intervertebral Disc Volume Properties below spine fusion, using Magnetic resonance imaging, in adolescent idiopathic scoliosis surgery. *Spine* 2007; 32:405-412.
15. Duval-Beaupère G, Dubousset J, Queneau P, *et al.* Pour une théorie unique de l'évaluation des scolioses. *Presse Méd* 1970 ;78 :1141-1146.
16. Duval-Beaupère G, Barthel F. Growth in scoliotics. *Rev Chir Orthop* 1983 ;69 :201-6.
17. Roberts S, Evans H, Trivedi J, *et al.* Histology and Pathology of the human intervertebral disc. *JMJS* 2006 ;88 (Suppl 2) :10-4.
18. Mwale F, Iatridis JC, Antoniou J. Quantitative MRI as a diagnostic tool of intervertebral disc matrix composition and integrity. *Eur Spine J* 2008;17(Suppl4): S432-S440.
19. Rajasekaran S, Naresh Babu J, Arun R, *et al.* ISSLS prize winner: a study of diffusion in human lumbar discs: a serial magnetic resonance imaging study documenting the influence of the endplate on diffusion in normal and degenerate discs. *Spine* 2004;29:2654–67.



20. Janssen MM, Vincken KL, van Raak SM. Sagittal spinal profile and spinopelvic balance in parents of scoliotic children. *Spine* 2013 ;13 :1789-1800.

## **VII- Tableaux et figures**

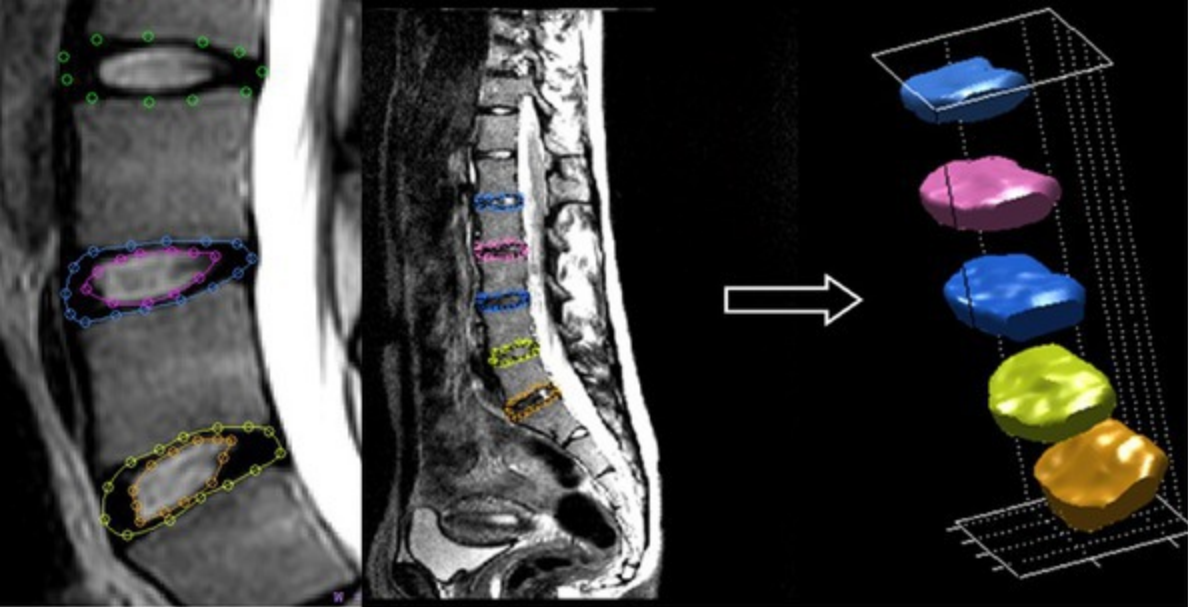
**Tableau 1** – Distribution des variables quantitatives de la cohorte pédiatrique (n = 98). Les propriétés de volume et les hydratations sont classées par niveau de segment avec p25 : 25e percentile, p50 : 50e percentile, p75 : 75e percentile, DS : écart-type.

**Tableau 2** – Description du modèle linéaire mixte multivarié de la cohorte pédiatrique. L'hydratation est explorée en fonction du niveau de segment, du groupe d'âge et du genre. Le témoin était l'hydratation du segment T12-L1.

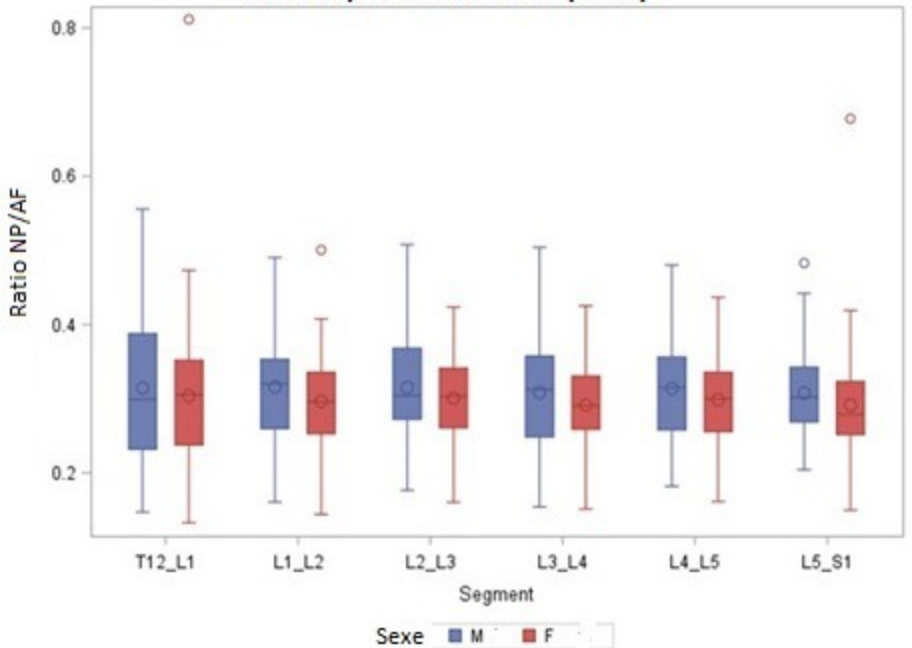
**Figure 1** – Segmentation semi-automatique et reconstruction automatique du volume (Biomechlab®) des DIV à partir de coupes IRM (L5-S1 à L1-L2)

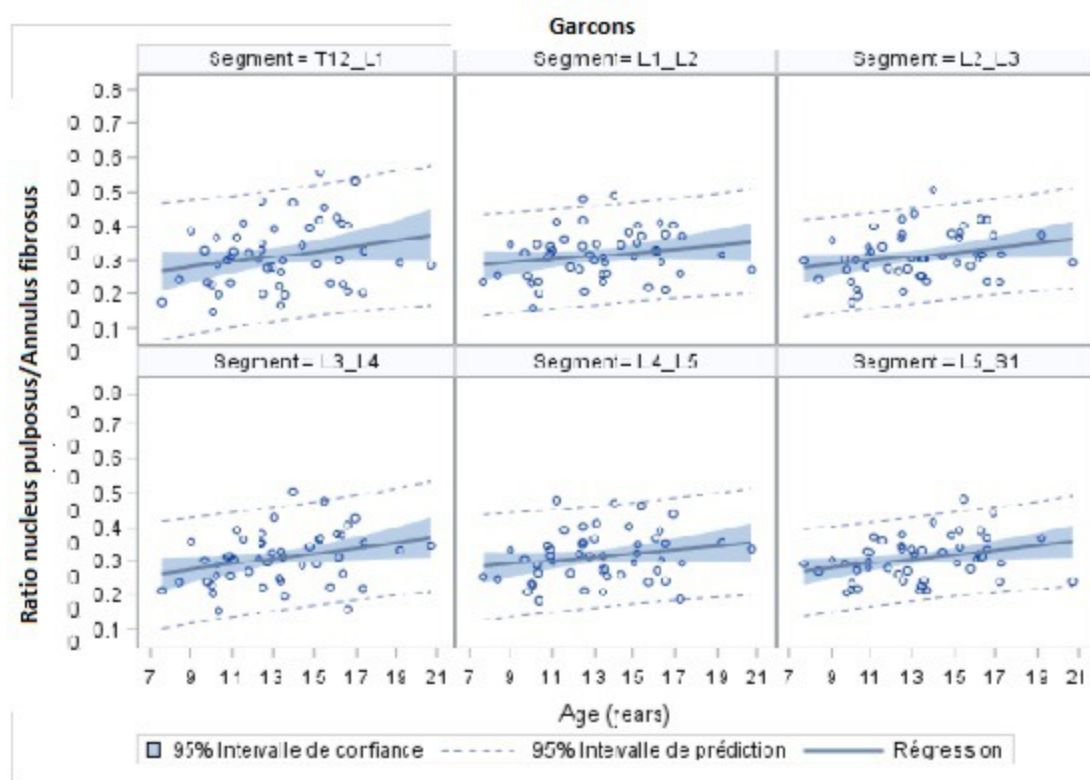
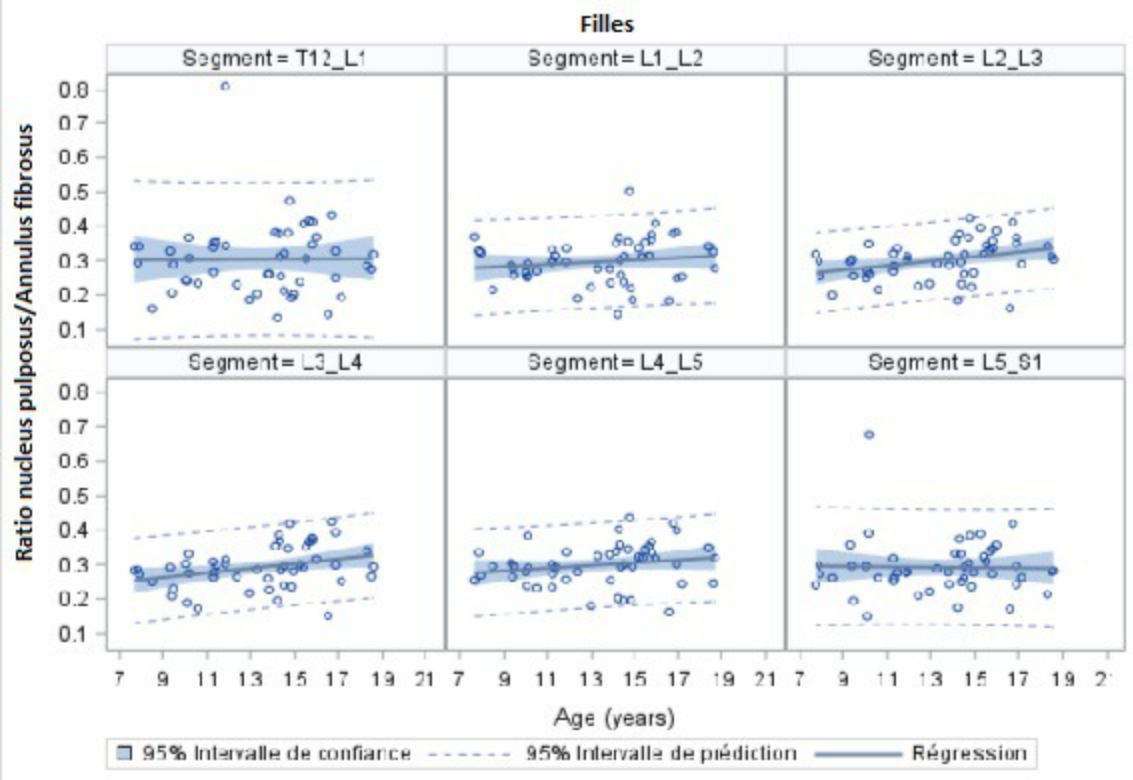
**Figure 2** – Répartition du taux d'hydratation du DIV le long de la colonne vertébrale (T12-L1 à L5-S1) et selon le genre

**Figure 3-** Répartition des schémas d'hydratation du DIV pour la cohorte pédiatrique (n = 49), par genre, âge et segment. La ligne continue représente le modèle de régression linéaire. L'aire continue représente l'intervalle de confiance à 95 % et la ligne pointillée représente les limites de l'intervalle de prévision à 95 %.



Ratio NP/AF selon le sexe (N=98)





**Tableau 1 –**

paramètre	moyenne	DS	min	p25	p50	p75	max	
IVD volume (mm <sup>3</sup> )	T12_L1	7611.3	3175.7	2127.4	5327.4	7183.6	9310.0	17863.1
	L1_L2	9593.0	3934.2	2325.5	6874.8	8836.1	12023.9	21111.2
	L2_L3	10012.5	3624.9	2821.3	7770.0	9480.4	11766.2	19257.0
	L3_L4	10039.8	3261.9	3365.4	8304.6	9324.5	11394.7	20510.0
	L4_L5	9169.9	3031.4	3184.0	6997.4	8680.8	10822.1	19394.5
	L5_S1	7407.2	2526.0	1541.6	5725.1	6979.9	8907.7	13586.8
NP volume (mm <sup>3</sup> )	T12_L1	2496.3	1585.7	338.2	1234.9	1890.7	3633.5	7715.4
	L1_L2	3091.5	1787.7	499.0	1685.5	2808.5	3916.2	7756.3
	L2_L3	3196.0	1625.6	563.0	2092.4	2699.0	3996.4	8135.0
	L3_L4	3110.0	1516.1	839.2	2047.4	2777.8	3955.5	7291.2
	L4_L5	2830.7	1195.6	837.5	1891.0	2570.1	3586.7	5727.2
	L5_S1	2216.8	905.0	348.0	1596.6	2072.7	2795.8	4824.7
Hydration	T12_L1	0.31	0.10	0.13	0.23	0.30	0.37	0.81
	L1_L2	0.31	0.07	0.14	0.26	0.31	0.35	0.50
	L2_L3	0.31	0.06	0.16	0.26	0.30	0.35	0.51
	L3_L4	0.30	0.07	0.15	0.25	0.30	0.35	0.50
	L4_L5	0.31	0.07	0.16	0.26	0.30	0.35	0.48
	L5_S1	0.30	0.07	0.15	0.26	0.29	0.34	0.68

**Tableau 2 –**

paramètres		moyenne	DS	t-test	p	min	max
<i>segment</i>	L1_L2	-0.00315	0.0068	-0.52	0.60	-0.01514	0.008842
<i>segment</i>	L2_L3	-0.00143	0.0059	-0.23	0.81	-0.01342	0.01056
<i>segment</i>	L3_L4	-0.00928	0.0065	-1.52	0.13	-0.02127	0.002711
<i>segment</i>	L4_L5	-0.00298	0.0061	-0.49	0.62	-0.01497	0.009010
<i>segment</i>	L5_S1	-0.00957	0.0071	-1.57	0.12	-0.02156	0.002422
<i>gender</i>	female	-0.01580	0.0126	-1.25	0.21	-0.04055	0.008953
<i>age</i>		0.005007	0.0021	2.31	0.021	0.000747	0.009266