

ANALYSE ANATOMO-PHYSIOLOGIQUE DES SYSTÈMES OSTÉO-ARTICULAIRE ET VENTILATOIRE IMPLIQUÉS DANS LE CHANT

Marie HUTOIS

kinésithérapeute chaîniste GDS⁺, ostéopathe, psychomotricienne
conférencière en anatomie et biomécanique au Conservatoire Royal de Liège
diplômée de chant du Conservatoire de Verviers

Nicole SCOTTO DI CARLO

odologue⁺, Directeur de Recherche au CNRS
Laboratoire Parole et Langage - Unité Mixte de Recherche 6057 du CNRS

INTRODUCTION

LA PARTICULARITÉ de l'apprentissage du chant est d'exiger de l'élève qu'il se fasse le luthier de son instrument avant de pouvoir en jouer. Les professeurs de chant utilisent de façon empirique une grande variété de métaphores pour transmettre leur expérience somatognosique^{*} et développer les *sensations*^{*} du futur chanteur (Scotto di Carlo, 1996). Mais chanter requiert également une harmonie gestuelle et le strict respect des lois physiologiques du mouvement. C'est la raison pour laquelle il nous a paru intéressant de tenter une expérience, en ensei-

gnant l'anatomo-physiologie des systèmes ostéo-articulaire et ventilatoire impliqués dans le chant aux élèves de la classe de Véronique Solhosse au Conservatoire Royal de Musique de Liège, celle-ci ayant suivi les mêmes cours au préalable. La participation des étudiants fut enthousiaste et les avantages pour l'apprentissage du chant indéniables.

Le cours d'anatomie organisé sous forme d'atelier est dispensé dans une vaste salle permettant de disposer d'un espace suffisant pour se déplacer librement et effectuer des exercices au sol. L'enseignement porte principalement sur la biomécanique ostéo-articulaire, posturale et respiratoire de la voix chantée ; autrement dit, il concerne les os, le rapport des os entre eux, la posture qui en découle et le fonctionnement respiratoire. Ce choix offre le double avantage de simplifier la représentation du mouvement¹ et d'éviter de se perdre dans la complexité des insertions et des fonctions musculaires. Les élèves sont invités à s'interroger sur l'image de leur corps et à traduire par le dessin ou le modelage leurs représentations anatomiques personnelles. Dans un premier temps, la pâte à modeler permet une représentation en trois dimensions des segments anatomiques tels qu'ils les imaginent. La comparaison de tous les modelages réalisée au cours de la seconde étape met en évidence les différences et les lacunes qui font l'objet d'une discussion, enrichie des questions posées par les élèves. La troisième étape consiste en un modelage de la réalité anatomique. L'étayage des images justes, qui constitue la quatrième étape, se fait toujours de manière ludique par la visualisation, la mobilisation des segments anatomiques étudiés, l'anatomie palpatoire² et topographique, la théâtralisation², l'expérimen-

Ce travail est dédié à la mémoire d'Alexandra Hutois (18/2/1983 - 22/12/1998) en hommage à son amour pour la musique et le chant.

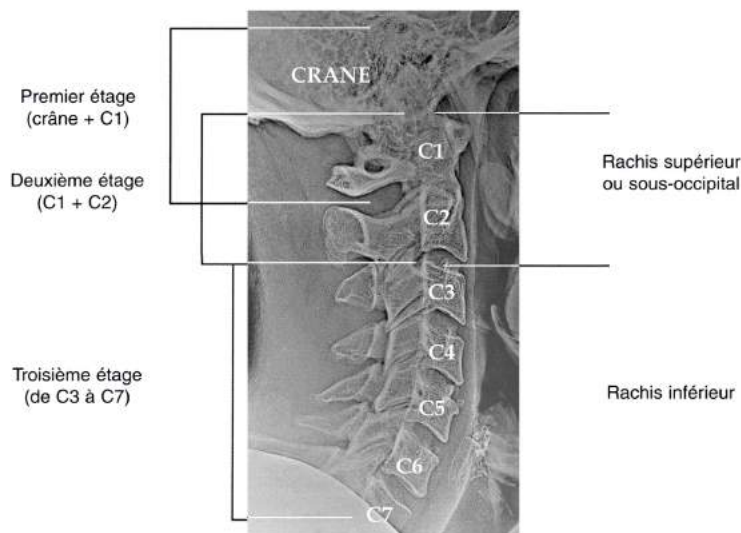


Figure 1. Etages articulaires du rachis cervical

Les sept vertèbres cervicales sont numérotées de C1 à C7 en partant du crâne. Les anatomistes décomposent le rachis cervical en trois étages articulaires. Le premier étage comprend le crâne et l'atlas (C1), le second, l'atlas et l'axis (C2) et le troisième les autres vertèbres cervicales de C3 à C7. Certains d'entre eux distinguent seulement deux étages : le rachis supérieur ou sous-occipital (crâne, atlas, axis) et le rachis inférieur (de C3 à C7).

^{*} Voir lexique pages 16-17.

1. Pour le cerveau, ce ne sont pas les moyens utilisés qui importent mais le but à atteindre, autrement dit, le mouvement et non le muscle.

2. Les élèves miment le mouvement des pièces anatomiques. Par exemple, les bras simulent un anneau costal et son déplacement pendant le mouvement d'inspiration/

tation vocale et la danse. Ainsi par exemple, le Raq Sharqi (danse orientale) qui dissocie parfaitement tous les mouvements du bassin est un bon support pour en comprendre la complexité. Ces activités allient favorablement la connaissance anatomo-physiologique et l'éveil sensoriel. Les nouvelles perceptions associées à la visualisation anatomique correcte peuvent alors être immédiatement appliquées à la pratique du chant.

Afin de mieux faire saisir le sens de cette démarche, nous nous limiterons ici à l'anatomo-physiologie du rachis et à la mécanique ventilatoire. Nous expliquerons ensuite en quoi ces nouvelles informations intellectuelles et sensorielles peuvent avoir une incidence bénéfique sur l'apprentissage du chant.

RACHIS CERVICAL

Le rachis cervical est composé de sept vertèbres que l'on numérote en faisant précéder le chiffre de la lettre C qui désigne la région cervicale, les lettres D, L, S indiquant respectivement les régions dorsale, lombaire et sacrée. Outre cette numérotation, les deux premières vertèbres cervicales ont reçu respectivement le nom d'atlas (C1) et d'axis (C2). Pour les commodités de l'analyse, les anatomistes décomposent le rachis cervical en trois étages articulaires qui correspondent à des unités fonctionnelles. Le premier étage comprend le crâne et l'atlas, le second, l'atlas et l'axis et le troisième regroupe les autres vertèbres cervicales de C3 à C7. On appelle également rachis supérieur ou rachis sous-occipital les deux premiers étages articulaires et rachis inférieur le troisième (figure 1). L'atlas et l'axis, qui ont des fonctions spécifiques, présentent une structure anatomique très différente de celle des autres vertèbres cervicales.

A. ATLAS, AXIS

1. Atlas, axe du « oui »

Atlas est le nom qu'on donné les anatomistes à la première vertèbre cervicale en référence au Titan condamné par Zeus à soutenir la voûte céleste sur ses épaules. L'atlas s'articule avec le crâne, lui offre un appui et peut, par l'action des muscles rachidiens profonds, le repousser vers le haut. Le mouvement de la tête sur la première vertèbre cervicale (mouvement d'acquiescement) se fait autour d'un axe reliant les deux apophyses transverses de l'atlas palpables sous le lobe de l'oreille dans l'espace compris entre l'apophyse mastoïde* et la mandibule. Ce mouvement de faible amplitude n'implique pas l'axis. Il pourrait être comparé aux mouvements de bascule antéro-postérieurs de deux œufs (les condyles de l'occipital) dans leurs coquiers (les cavités glénoïdes de l'atlas) (figure 2). La libération de ce mouvement, associée à un autograndissement cervical* est fondamentale

expiration. On peut regrouper les élèves et les mettre en scène pour leur faire jouer le fonctionnement biomécanique complexe que l'on étudie : un premier élève mime le déplacement du diaphragme, pendant qu'un deuxième placé derrière lui représente l'axe vertébral et que deux autres placés de part et d'autre du couple diaphragme/axe vertébral figurent les côtes avec leurs bras.

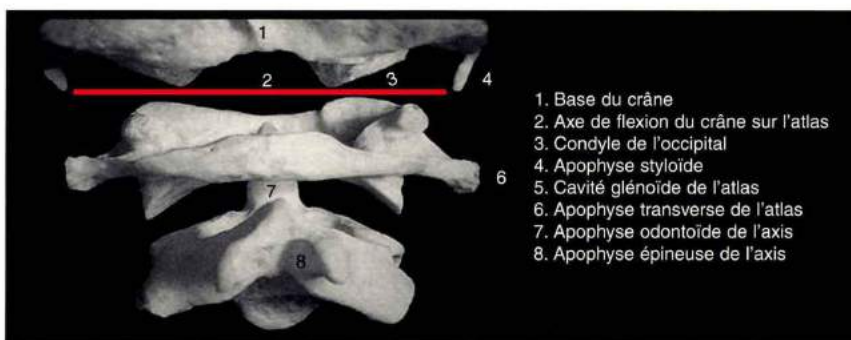


Figure 2. Axe de flexion du crâne sur l'atlas (d'après Gosling, 2003)

Cette vue postérieure éclatée du rachis cervical supérieur montre l'emboîtement des différentes pièces anatomiques qui le constituent : le crâne, l'atlas (C1), l'axis (C2) et permet de situer l'endroit précis où la tête s'articule sur la colonne cervicale. La flexion du crâne sur l'atlas s'effectue entre le crâne et l'atlas autour d'un axe reliant les deux apophyses transverses de C1. (Ici, l'axe est décalé vers le haut parce que les pièces anatomiques ne sont pas emboîtées les unes dans les autres.) Ce mouvement limité qui correspond à celui de l'acquiescement est réalisé sans la participation de l'axis. Sa libération associée à un autograndissement cervical est très importante puisque ce sont ces deux mouvements synchronisés qui permettent la mise en place de tous les ajustements cervico-mandibulaires et posturaux indispensables à la pratique du chant lyrique.

pour acquérir la détente musculaire indispensable à la mobilité du système ostéo-articulaire, car elle va permettre la mise en place de tous les ajustements cervico-mandibulaires et posturaux qui sont essentiels pour le chant lyrique.

2. Axis, axe du « non »

Le rôle fonctionnel de l'axis est surtout lié à son apophyse odontoïde qui prévient le tassement du rachis supérieur en assurant un espace de sécurité entre le crâne et la deuxième vertèbre cervicale. En outre, glissée dans l'atlas comme un doigt dans un anneau, elle protège la moelle épinière de la rupture en évitant le glissement d'une vertèbre sur l'autre (cf. figure 2). L'apophyse odontoïde de l'axis constitue l'axe de rotation de l'ensemble solidaire que forment l'atlas et le crâne sur l'axis. La rotation de l'atlas sur l'axis est de faible amplitude car elle est limitée par leurs articulations et ligaments. Le mouvement de négation résulte d'une mise en spirale des vertèbres cervicales, l'une entraînant l'autre dans une rotation étagée partant de l'occiput. La rotation du crâne sur l'atlas limitée par la double articulation atlanto-occipitale* entraîne l'atlas dans son mouvement. Limité lui aussi dans son amplitude, il entraîne à son tour l'axis. Vertèbre après vertèbre, cet enchaînement de torsions donne à la colonne une allure générale d'escalier en colimaçon (figure 3).

B. COLONNE CERVICALE ET MOUVEMENT ANTIGRAVITAIRE

Les muscles prévertébraux protègent la colonne cervicale du « coup du lapin ». Dans les professions où leur rôle protecteur est mis à rude épreuve (danse classique, équitation, arts du cirque, sport, etc.), leur utilisation intensive peut causer des cervicalgies par surmenage, particulièrement en ce qui concerne le long du cou. Sous-utilisés chez les sédentaires, les muscles prévertébraux finissent par devenir hypotoniques et leur défaillance est à l'origine d'un grand nombre de douleurs cervicales, de pathologies rhumatismales et d'accidents vertébraux répétés. C'est en contractant leurs muscles

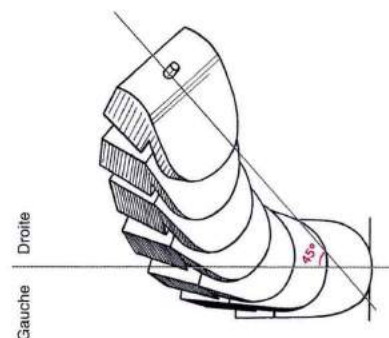


Figure 3. Rotation étagée des vertèbres cervicales lors du pivotement latéral du crâne (d'après Kapandji, 2004)

Lors de la rotation du crâne qui correspond au mouvement de négation, la mise en spirale des vertèbres cervicales s'effectue à partir de l'occiput. Limitée par la double articulation atlanto-occipitale, la rotation du crâne sur l'atlas entraîne ce dernier dans son mouvement. L'amplitude de l'atlas étant réduite elle aussi, il va entraîner à son tour l'axis. Vertèbre après vertèbre, cet enchaînement de torsions donne à la colonne cervicale une allure générale d'escalier en colimaçon.

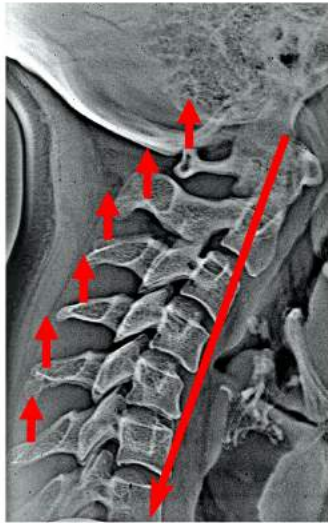


Figure 4. Action des muscles antigravitaires
Lorsque les muscles prévertébraux qui sont insérés sur la partie antérieure des corps vertébraux* se contractent, ils exercent une traction vers le bas sur l'apophyse basilaire* (grande flèche descendante). Cette traction maintient le crâne en flexion* sur la première vertèbre cervicale et étire les muscles postérieurs profonds, provoquant ainsi leur contraction réactive qui entraîne la vertèbre sous-jacente vers le haut (petites flèches ascendantes). Ce mécanisme réactif ascendant se propage à chaque étage vertébral en partant de la première vertèbre cervicale jusqu'à la dernière lombaire. Il a pour effet d'étirer la colonne vertébrale et d'en effacer les courbures. Dans son mouvement antigravitaire*, l'atlas positionne le vertex* vers le zénith.

Si l'érection vertébrale est rigidifiée par une hypertonie permanente, voire un spasme de ces muscles à vocation adaptative, la perte du ressort et de la souplesse articulaire va induire chez le chanteur une incapacité à inverser sa courbure, avec comme conséquence une difficulté à émettre les aigus et l'apparition, à plus ou moins brève échéance, d'une cervicalgie et d'une dysodie. Dans ce cas, le rachis est pathologique.

prévertébraux que les chanteurs trouvent la position cervicale spécifique à l'émission des aigus mise en évidence par Scotto di Carlo (1998). Insérés sur la partie antérieure des corps vertébraux, les muscles prévertébraux exercent, lors de leur contraction, une traction vers le bas sur l'apophyse basilaire*, en avant de l'axe du mouvement d'acquiescement du crâne. Cette traction a pour conséquence de maintenir le crâne en flexion* et d'étirer les muscles postérieurs profonds, provoquant ainsi leur contraction réactive, appelée réflexe myotatique*, qui entraîne la vertèbre sous-jacente vers le haut. Ce mécanisme réactif ascendant se propage à chaque étage vertébral en partant de la première vertèbre cervicale jusqu'à la dernière lombaire (figure 4). Il a pour effet d'étirer la colonne vertébrale et d'en effacer les courbures. L'atlas dans son mouvement antigravitaire* positionne le vertex* vers le zénith. Pour obtenir ce mouvement antigravitaire, les professeurs de chant demandent généralement à leurs élèves de prendre une « attitude noble ».

C. RACHIS ET NORMALITE

Nicole Scotto di Carlo (1998) met en évidence la position érigée du rachis cervical des chanteurs avec hypolordose*, rectitude ou hypocypose* au repos et dans le grave et inversion de courbure dans l'aigu. Françoise Sabourin (1996) et Errol Toran (2005) signalent la fréquence des pertes de lordose* physiologique chez les danseurs. Quant à Noëlle Perez-Christiaens (1983), elle observe une rectitude cervicale chez les populations qui portent les charges sur la tête (figure 5). Les trois images radiologiques des rachis cervicaux d'un chanteur, d'un danseur professionnel, ainsi que d'un portugais habitué depuis son plus jeune âge à porter une charge sur la tête, remettent en question une conception largement répandue qui consiste à considérer la perte de lordose cervicale comme une pathologie. En effet, l'examen des arcs postérieurs* montre qu'à la hauteur des courbures dorsales et lombaires,

les facettes articulaires positionnées en arrière des corps vertébraux font penser à des tuiles qui, lorsque les courbures sont atténuées, se verticalisent au point de ne plus offrir aucun appui. Elles ne peuvent que glisser les unes sur les autres en risquant le rétrolisthésis* et déstabiliser de ce fait l'appui tripode constitué par le corps vertébral et les deux articulations postérieures. L'orientation des facettes détermine donc les courbures vertébrales. Par contre, les articulations postérieures de l'étage cervical ont une position plus centrale par rapport au corps vertébral, le tripode d'appui se trouve ainsi aplati et situé en avant de la moelle, alors que le tripode lombaire et dorsal circonscrit le canal rachidien. L'orientation des facettes articulaires de l'étage cervical est quasiment horizontal ; en outre, les surfaces articulaires de l'axis sont curieusement antérieures de part et d'autre de l'apophyse odontoïde et se situent juste en dessous des articulations du crâne sur l'atlas, à l'aplomb du vertex (figure 6). Par ailleurs l'ensemble articulaire des corps vertébraux en forme de selle permet surtout les mouvements de flexion*-extension* (Kapandji, 2004) (figure 7). La région cervicale, dont la gracilité contraste avec la robustesse de l'ensemble du rachis, semble conçue pour permettre une grande mobilité dans le plan sagittal* en autorisant les passages de la lordose physiologique à l'effacement de courbure, voire à l'inversion de courbure.

Selon Morris *et al.* (1961), la charge du rachis dorsal et lombaire est allégée à l'effort par une réaction en gainage protecteur des muscles thoraciques et abdominaux, et par une augmentation simultanée de la pression intrathoracique et abdominale, la fermeture hermétique simultanée de la glotte* étant la condition *sine qua non* de l'accroissement de la pression. L'ajustement se fait par bouffées adaptatives, proportionnelles à l'effort fourni. L'existence de ces réactions réflexes solidaires permet d'émettre l'hypothèse selon laquelle, d'une part, les muscles profonds du rachis cervical participent eux aussi à cette synergie stabilisatrice de l'axe

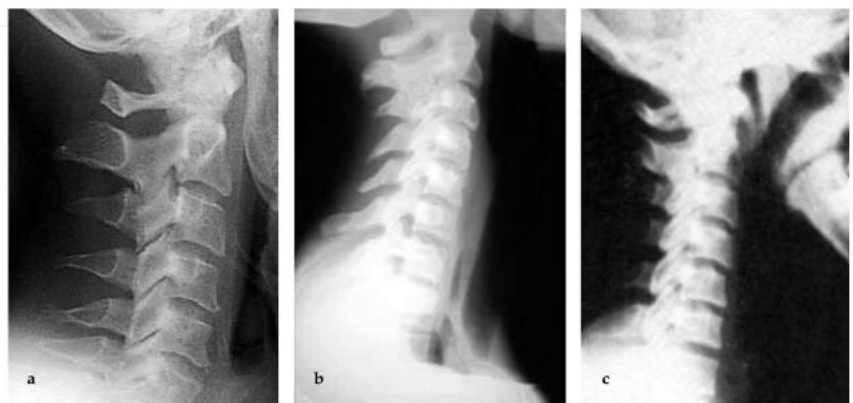


Figure 5. Rachis cervical de trois sujets présentant une perte de lordose cervicale
(d'après Scotto di Carlo, 1998 ; Thiescé, 2007 ; Perez-Christiaens, 1983)

Ces radiographies montrent le rachis cervical au repos d'un chanteur (a) et d'un danseur (b) professionnels, ainsi que d'un homme (c) habitué depuis son enfance à porter des charges sur la tête. On remarquera chez ces trois sujets une absence de lordose physiologique qui n'est pas la conséquence d'une pathologie mais le résultat de la mise en place d'une posture de protection liée à la pratique intensive d'une activité artistique ou d'une activité professionnelle mettant en danger non seulement le rachis cervical mais la totalité de l'axe vertébral.

vertébral et d'autre part, l'effacement des lordoses et des cyphoses s'étend à l'ensemble du rachis, aussi bien au moment de l'inspiration physiologique que lors d'un effort important.

Quand on examine le rachis cervical d'un individu portant une charge sur la tête, on l'observe au cours d'un repoussé antigravitaire actif. S'il est sollicité quotidiennement, il se trouvera à la longue musclé par cette activité et présentera une perte de lordose même au repos. Compte tenu des contraintes importantes auxquelles elle est soumise, la colonne vertébrale des danseurs professionnels doit être protégée en permanence et en particulier leur colonne cervicale qui stabilise la tête tout en la mobilisant activement lors de l'exécution des sauts et des tours. Il semble donc cohérent de penser qu'après plusieurs années de pratique intensive la lordose cervicale soit réduite voire effacée, comme c'est le cas chez les chanteurs professionnels. Si on examine l'étage cervical pendant le chant, on l'observe en phase d'expiration phonatoire, c'est-à-dire dans un effort actif pour maintenir la position inspiratoire tout en expirant. S'il s'agissait uniquement de la réaction musculaire en rigidification gainante induite par l'effort, ainsi qu'on peut le constater dans le registre grave, on devrait observer une diminution de la lordose cervicale dans tous les registres et non une inversion de courbure comme c'est le cas pendant l'émission de l'aigu. La différence entre le port sur la tête et la danse d'une part et le chant d'autre part, réside dans le fait que lors de l'émission des aigus, pour ouvrir son espace pharyngé, le chanteur doit contracter les muscles prévertébraux tout en relâchant la musculature superficielle postérieure de la nuque, d'où l'importance de localiser et d'isoler le mouvement du crâne sur l'atlas pour libérer la réactivité des muscles de la base du crâne.

Chez les sujets qui présentent une perte de lordose cervicale, on peut observer deux cas de figures. Si la perte de lordose est souple et que la musculature squelettique garde sa capacité intrinsèque d'ajustement par bouffées adaptatives, le rythme vertébral est préservé et le rachis est asymptomatique. En revanche, si l'érection vertébrale est rigidifiée par une hypertonie permanente, voire un spasme de ces muscles à vocation adaptative, la perte du ressort et de la souplesse articulaire va induire chez le chanteur une incapacité à inverser sa courbure, avec comme conséquence une difficulté à émettre les aigus et l'apparition, à plus ou moins brève échéance, d'une cervicalgie et d'une dysodie*. Dans ce cas, le rachis est pathologique.

Quelle que soit sa morphologie, un rachis ne peut être considéré comme pathologique que s'il engendre des problèmes fonctionnels. Vu sous cet angle, l'étage cervical est un segment en perpétuel mouvement conçu comme un ressort et étayé par des amarres élastiques. Au repos hypotonique, il peut être lordosé, en disposition active de « prêt à » (mise en tension sympathique* préparant à l'action), on peut le trouver érigé ; pendant l'émission des aigus il sera inversé et dans tous ces cas l'étage cervical peut être considéré comme normal. La normalité ne peut donc pas être envisagée à partir d'une image radiologique statique mais d'une image dynamique évaluant la capacité de

ANALYSE ANATOMO-PHYSIOLOGIQUE DES SYSTÈMES OSTÉO-ARTICULAIRE ET VENTILATOIRE IMPLIQUÉS DANS LE CHANT

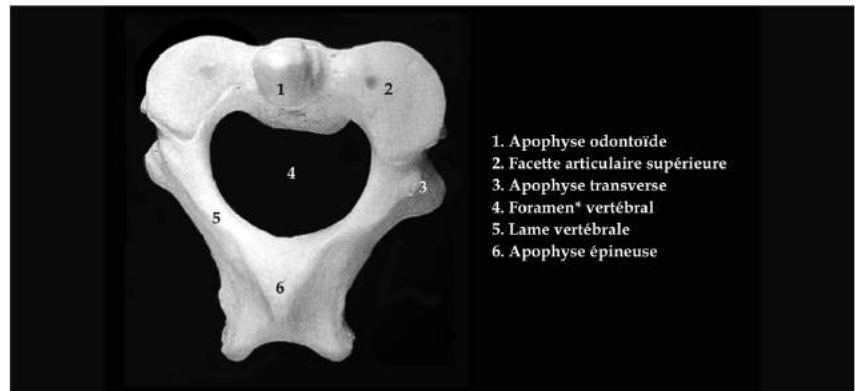


Figure 6. Vue supéro-postérieure de l'axis (d'après Gosling, 2003)

L'axis, seconde vertèbre cervicale, présente une dent ou apophyse odontoïde sur sa partie antéro-supérieure qui se glisse dans l'atlas comme un doigt dans un anneau (Cf. figure 2). Telle une colonne qui soutient une voûte, elle prévient l'étage cervical supérieur du tassement. Cette vertèbre constitue l'axe autour duquel s'organise le mouvement de négation.

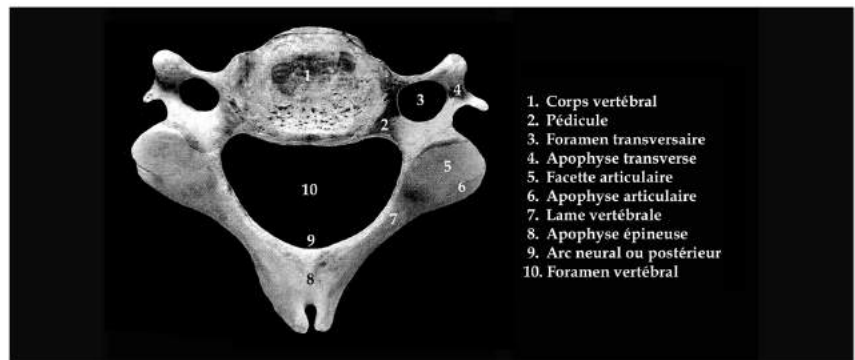


Figure 7. Vue supéro-postérieure de C4 (d'après Gosling, 2003)

Les vertèbres cervicales sont les plus petites vertèbres du rachis ; elles ont la particularité d'avoir une apophyse épineuse bifide et un trou transversaire* qui laisse passer l'artère vertébrale. La région cervicale dont la gracilité contraste avec la robustesse de l'ensemble du rachis semble conçue pour permettre une grande mobilité dans le plan sagittal*.

ANALYSE ANATOMO-PHYSIOLOGIQUE DES SYSTÈMES OSTÉO-ARTICULAIRE ET VENTILATOIRE IMPLIQUÉS DANS LE CHANT

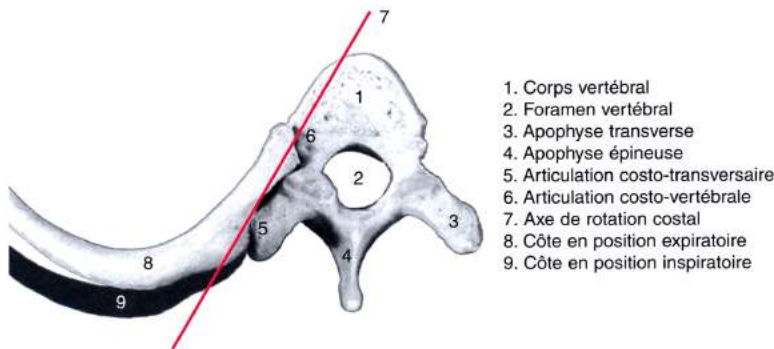


Figure 8. Vue supéro-inférieure de l'articulation costale
La côte s'articule en deux points de la vertèbre : sur l'apophyse transverse (5) et sur le corps vertébral (6). Le segment de côte délimité par ces deux articulations détermine l'axe de rotation de la côte (7). A l'inspiration, la côte roule sur elle-même, actionnée par les muscles intercostaux postérieurs, ce qui, en l'horizontalisant, a pour effet d'élargir le thorax dans toutes ses dimensions.

postéro-antérieure. A l'inspiration, les muscles intercostaux postérieurs l'actionnent en la faisant rouler autour de son axe. En pivotant, elle se soulève jusqu'à l'horizontale, ce qui a pour conséquence d'ouvrir l'espace thoracique dans toutes ses dimensions : en arrière, latéralement et en avant.

L'axe de rotation costal est orienté différemment pour les côtes de l'étage thoracique supérieur et celles de l'étage costal inférieur qui jouent un rôle déterminant dans le chant. « L'orientation de cet axe par rapport au plan sagittal* détermine la direction du mouvement costal » (Kapandji, 2004). Lorsqu'il est proche du plan frontal*, comme c'est le cas pour les côtes supérieures, l'élévation costale entraîne une augmentation plus importante du diamètre antéro-postérieur du thorax et, par conséquent, l'ouverture costale sera surtout antérieure. Quand il se rapproche du plan sagittal, ce qui est le cas pour les côtes inférieures, l'élévation de la côte va surtout entraîner une augmentation du diamètre transversal du thorax et par conséquent l'ouverture costale sera à prédominance latérale (Kapandji, 2004).

b) Respiration et rachis

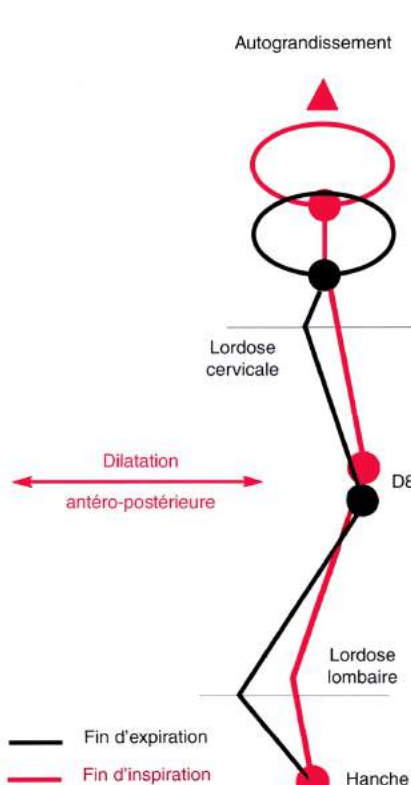
Lorsqu'on l'observe de profil, la colonne vertébrale est naturellement courbée. Les régions cervicale et lombaire présentent une lordose*, la région dorsale une cyphose*. Le sommet de la courbure dorsale se situe au niveau de la huitième vertèbre dorsale (D8). Ainsi que nous allons le voir, inspiration et expiration rythment les courbures vertébrales.

• A l'inspiration :

L'axe vertébral dorsal se rigidifie par une réaction stabilisatrice du rachis à l'effort, décrite par Morris *et al.* (1961). Le support axial ainsi solidifié offre un arrimage ferme à l'axe de rotation costal. L'efficacité du mouvement des côtes entraîne alors une ouverture optimale de la cage thoracique : les courbures vertébrales s'estompent, le bassin se rétroverse* passivement et le sacrum se verticalise en « baissant la queue ». La dilatation thoracique maintient la vertèbre D8 en position postérieure. Elle devient ainsi le pivot autour duquel s'organisent les courbures dorso-lombaires et dorso-cervicales car c'est sur elle que doivent s'aligner les autres vertèbres lors du redressement des courbures résultant du mouvement antigravitaire (figure 9). Beaucoup d'élèves se plaignent de ressentir une douleur au milieu du dos au cours de leur tentative d'autograndissement parce qu'ils creusent la région située entre D6 et D8 au lieu de repousser le sommet de la courbure dorsale vers l'arrière.

• A l'expiration :

Les courbures réapparaissent par l'abandon du tonus antigravitaire, les côtes s'abaissent, le volume intrathoracique diminue.



ressort du système. La posture devrait dès lors être considérée non pas comme une référence fixe mais plutôt comme une position d'équilibre autour de laquelle les rythmes s'organisent, tels ces culbuts qui, lorsque les enfants les déséquilibrent, reviennent toujours vers leur axe.

DYNAMIQUE VENTILATOIRE

A. RESPIRATION REFLEXE

1. La respiration vue sous l'angle des os

a) Cage thoracique

Lorsqu'on inspire, la cage thoracique s'ouvre dans toutes ses dimensions. Comment une cage osseuse peut-elle se dilater ainsi ? La côte s'articule sur la vertèbre et sur son apophyse transverse*. L'orientation du segment costal compris entre les articulations costo-vertébrale et costo-transversaire détermine la direction de l'axe de rotation de la côte (figure 8). En position expiratoire, la côte présente une déclivité

Figure 9. Organisation des courbures dorso-lombaires autour de D8 en fin d'inspiration (en rouge) et en fin d'expiration (en noir)

Les courbures vertébrales s'atténuent ou se creusent au rythme de la respiration. A l'inspiration, la colonne vertébrale se rigidifie sous l'action antigravitaire* et autograndissante des muscles profonds du rachis et ses courbures s'effacent. Elle peut offrir ainsi une résistance plus ferme à l'action des muscles inspirateurs postérieurs. A l'expiration, le relâchement du tonus musculaire a pour effet de rétablir les courbures et par conséquent de restituer au sujet sa taille initiale. La huitième vertèbre dorsale (D8) est le centre autour duquel pivotent les segments vertébraux dorso-cervicaux et dorso-lombaires.

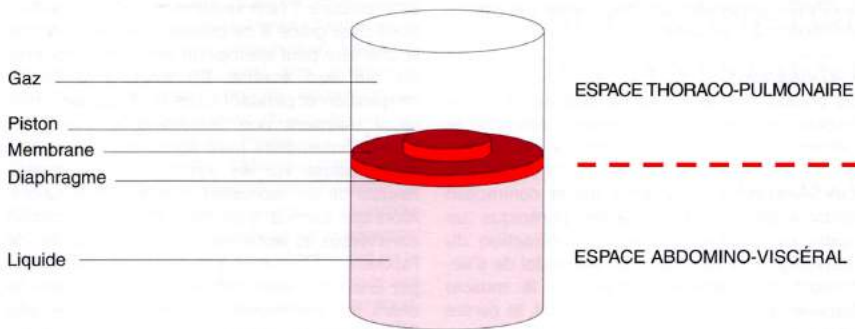


Figure 10. Modèle hydro-pneumatique de la respiration

L'abdomen peut être comparé mécaniquement à un ballon de baudruche rempli d'eau, déposé dans le bassin osseux et enveloppé des muscles abdominaux et périnéaux, tandis que le thorax est analogue à un ballon rempli d'air contenu dans une cage osseuse. Le muscle diaphragme, à la fois piston et membrane, sépare l'espace hydraulique de l'espace pneumatique tout en étant capable, grâce à ses déplacements verticaux, d'augmenter ou de diminuer la pression de l'air pulmonaire et de mobiliser la masse viscérale.

2. La respiration vue sous l'angle des tissus mous

a) Analogie hydro-pneumatique

La respiration est un jeu de pression/dépression, action/réaction. Le niveau thoraco-pulmonaire répond à des lois pneumatiques, puisque les poumons sont remplis d'air et le niveau viscéro-abdominal à des lois hydrauliques dans la mesure où le contenu abdominal se comporte comme une masse liquide (figure 10). Les gaz étant compressibles, à température égale, le volume d'un gaz est inversement proportionnel à sa pression (loi de Boyle-Mariotte). Le contenu des poumons peut par conséquent être comprimé par la triple action des muscles expirateurs. Les constricteurs du thorax dont font partie les intercostaux internes et externes, le grand dorsal et le trapèze dans sa portion dorsale, réduisent le volume de la cage thoracique ; les presseurs de l'abdomen et en particulier le transverse et les obliques contiennent l'abdomen ; les releveurs du plancher périnéal comme le releveur de l'anus s'opposent à la descente des viscères. Il est donc possible de faire varier la pression de l'air pulmonaire en contractant plus ou moins ces groupes musculaires. En revanche les liquides n'étant pas compressibles, la masse viscérale repoussée vers le bas par le diaphragme au cours de l'inspiration va se déplacer pour chercher une issue en gonflant l'abdomen et/ou en repoussant le périnée. Cette poussée viscérale distend la musculature abdominale et périnéale, ce qui déclenche le réflexe myotatique de ces groupes musculaires.

b) Niveau thoraco-pulmonaire, diaphragme

La forme du diaphragme peut être comparée à une raie manta dont la queue serait appliquée sur les corps vertébraux et la bouche sur l'extrémité inférieure et interne du sternum, son corps bombé vers le haut et ses ailes ramenées en forme de parachute vers son insertion sur le bord inférieur de la cage thoracique (figure 11). Le diaphragme agit comme une membrane souple qui sépare le thorax de l'abdomen, mais aussi comme un piston (centre phrénique*) lors de la phase inspiratoire d'appui diaphragmatique sur les viscères.

• A l'inspiration

- Les poumons sont solidaires de la cage thoracique contre laquelle ils sont maintenus en contact par l'intermédiaire des deux plèvres ; l'une tapisse les poumons, la seconde le thorax. Leur accollement est réalisé par tension superficielle. Cet effet, dû à la tension qui existe à la surface de séparation de deux milieux, est celui qui permet par exemple à une lentille de contact de rester fixée sur le globe oculaire.

L'élargissement thoracique, consécutif à la rotation costale, entraîne donc une dilatation des poumons, ce qui induit un appel d'air qui va les gonfler passivement puisqu'à cet instant la pression intrapulmonaire est inférieure à la pression atmosphérique.

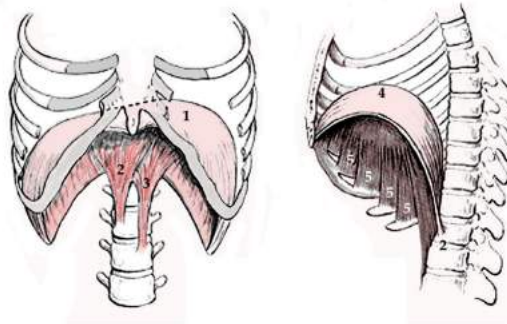
- Au repos, le diaphragme est bombé vers le haut, les fibres de sa partie musculaire rayonnent en partant de son centre fibreux. En se contractant, lors de l'inspiration, les fibres musculaires abaissent le centre phrénique qui repousse les viscères vers le bas.

- Dans sa descente, le centre phrénique rencontre la résistance viscérale et y prend appui. Etant toujours positionné plus haut que les dernières côtes sur lesquelles il s'insère, la contraction de ses fibres musculaires a pour effet de les soulever. En fin de mouvement, le diaphragme s'est aplati et élargi, ouvrant tous les diamètres du thorax : supéro-inférieur, antéro-postérieur, latéro-latéral. Notons que le diaphragme et les muscles intercostaux inspirateurs ont une action conjointe sur les dernières côtes : ils les horizontalisent et ouvrent de ce fait les diamètres antéro-postérieur et latéro-latéral du thorax dans le plan horizontal (figure 12).

• A l'expiration

Le tonus musculaire se relâche :

- les poumons se vident passivement ;
- les bords du diaphragme s'abaissent et les côtes l'accompagnent ;
- sa partie centrale fibreuse reprend sa position haute.



1. Diaphragme
2. Piliers droit (insertion vertébrale)
3. Piliers gauche (insertion vertébrale)
4. Centre phrénique
5. Insertions costales

Figure 11. Insertions costales et lombaires du diaphragme

Le diaphragme est un cloison musculo-tendineuse en forme de coupole asymétrique qui sépare la cavité thoracique de la cavité abdominale puisqu'il est situé entre les poumons et les viscères. C'est le muscle le plus important de la respiration. Au cours de l'inspiration, il s'abaisse et repousse les viscères. Lors du deuxième temps de la phase inspiratoire, il prend appui sur les viscères et élève les côtes.

Le chanteur relève le défi d'expirer en maintenant l'axe vertébral érigé, les courbures effacées voire inversées, le sacrum et le bassin rétroversés, les côtes horizontalisées, le centre phrénique abaissé, les bords costaux du diaphragme relevés, la huitième vertèbre dorsale et le sternum éloignés l'une de l'autre comme si une entretoise était placée entre eux. Comment l'expiration phonatoire est-elle possible avec cette posture ? Non seulement elle est possible, mais c'est grâce à ce paradoxe mécanique que le chanteur peut exercer un contrôle aussi précis sur son souffle.

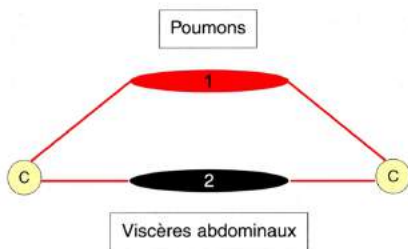


Figure 12. Incidence de la hauteur diaphragmatique sur le jeu costal

Les cercles représentent la section des côtes et l'ellipse le centre phrénique (partie centrale tendue du diaphragme) dans deux positions. En position 1, il est plus haut que la côte et en position 2, il est à hauteur de la côte. Les lignes rouges représentent les fibres rayonnantes du diaphragme. Si les viscères abdominaux maintiennent le centre phrénique dans sa position 1, lors de leur contraction les fibres rayonnantes du diaphragme vont élever les côtes en les tirant vers lui et faciliter ainsi leur rotation inspiratoire naturelle. Si par manque de tonus abdominal, les viscères laissent descendre le diaphragme à la hauteur des côtes (position 2), celles-ci seront maintenues en position basse par la contraction des fibres musculaires du diaphragme et resteront fermées parce qu'elles sont dans l'impossibilité de s'horizontaliser comme elles le font pendant l'inspiration. C'est ce qui se passe quand un sujet inspire en gonflant exagérément le ventre. Dans le chant, ce mode inspiratoire entrave le bon fonctionnement costal.

c) Niveau viscéro-abdominal, muscle transverse de l'abdomen, périnée

• A l'inspiration

La poussée viscérale sur le périnée et sur le muscle transverse de l'abdomen déclenche le réflexe myotatique, c'est-à-dire la contraction réactive de ces muscles à l'étirement (figure 13). Les viscères ainsi contenus par la contraction abdominale offrent au centre phrénique un appui en position haute. La contraction du diaphragme va permettre au jeu costal de s'accomplir de manière optimale. Si le muscle transverse de l'abdomen se relâchait, le centre phrénique trouverait son appui viscéral à la hauteur des dernières côtes et les bords du diaphragme freineraient alors l'ouverture thoracique en les maintenant fermées.

• A l'expiration

Les muscles transverse et les muscles du périnée se relâchent. La pression intra-abdominale diminue.

B. RESPIRATION DANS LE CHANT

1. Mécanique ventilatoire de la voix chantée

Contrairement à ce qui se passe dans la parole où les muscles agissent en synergie expiratoire, dans le chant, tout l'art consiste à maintenir la position inspiratoire en expirant. C'est ce que les pédagogues italiens appellent la *lotta vocale*. Le chanteur relève le défi d'expirer en maintenant l'axe vertébral érigé, les courbures effacées voire inversées, le sacrum et le bassin rétroversés, les côtes horizontalisées, le centre phrénique abaissé, les bords costaux du diaphragme relevés, la huitième vertèbre dorsale et le sternum éloignés l'une de l'autre comme si une entretoise était placée entre eux. Comment l'expiration phonatoire est-elle possible avec

cette posture ? Non seulement elle est possible, mais c'est grâce à ce paradoxe mécanique que le chanteur peut exercer un contrôle aussi précis sur son souffle. En effet, à la fin de l'inspiration et pendant toute la phase expiratoire, il maintient non seulement le thorax en position inspiratoire mais également l'appui diaphragmatique sur les viscères, ce qui a pour résultat de les repousser vers le bas et l'avant. Alors que dans la respiration réflexe les muscles transverse et accessoirement les obliques de l'abdomen réagissent à la dilatation abdominale par une contraction réflexe myotatique, dans le chant, leur commande volontaire, ainsi que celle du diaphragme, va permettre d'exercer une pression périphérique sur la masse abdominale afin d'en assurer la stabilité indispensable à la production d'un débit d'air régulier et d'une pression subglottique* constante qui seront adaptés en permanence aux nécessités de l'émission vocale. La contraction antagoniste concomitante du diaphragme, d'une part, et du transverse de l'abdomen et des muscles du périnée, d'autre part, ont pour effet de réorganiser la masse viscérale en entraînant un renflement du périmètre interthoraco-abdominal qui correspond à la sensation d'ouverture au niveau de la taille que ressentent les chanteurs lorsque l'appui est efficace.

De nombreux auteurs (Astruc, 1977 ; Watson et Hixon, 1990 ; Watson et al., 1989 ; Thorpe et al., 2001 ; Lassalle, 2002), ont démontré que dans le chant classique, la gestion de la musculature abdominale lors de la phase expiratoire diffère en fonction du degré d'entraînement des chanteurs. Alors que les chanteurs professionnels inhibent l'activité des grands droits et utilisent principalement leurs muscles transverse et obliques externes, les débutants utilisent de façon intensive les grands droits, les transverse et les obliques externes. En termes de rendement ventilatoire, si le type respiratoire employé par les professionnels est particulièrement efficace, c'est parce que le transverse, muscle presseur de l'abdomen, agit à la manière d'un corset dont on resserrerait les lacets, tandis que les muscles obliques externes ont un effet à la fois presseur et ascensionnel lorsque leur insertion costale est fixée par l'action des muscles intercostaux inspireurs et du diaphragme, élévateur des côtes dans sa seconde phase inspiratoire (Kapandji, 2004). Ces synergies musculaires ont pour effet de préserver l'ouverture de la cage thoracique et par voie de conséquence d'allonger la durée de la phase expiratoire. En revanche, le type respiratoire utilisé par les débutants manque d'efficacité parce que la contraction des grands droits, en rapprochant leurs insertions sternales et pubiennes, abaisse le sternum et entrave l'ouverture costale, ce qui va avoir pour résultat de raccourcir la durée du souffle expiratoire.

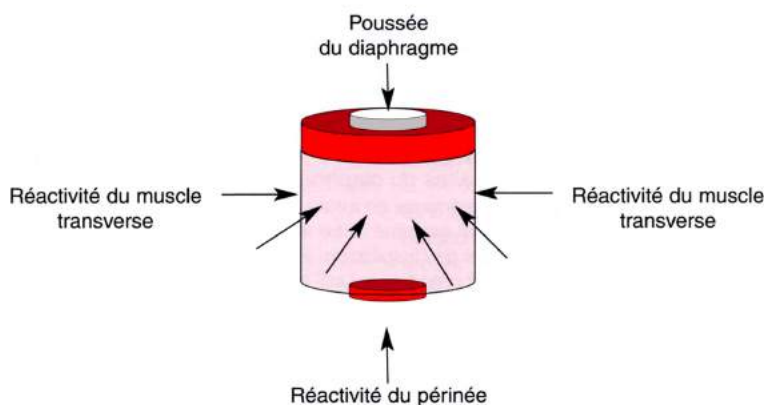


Figure 13. Réactivité des muscles transverse et du périnée à la poussée diaphragmatique

En s'abaissant, le diaphragme repousse les viscères qui distendent la paroi abdominale et le périnée. Les muscles réagissent à leur étirement par une réaction contractile appelée réflexe myotatique. Les viscères fermement enveloppés opposent alors une résistance à la descente du diaphragme, lui offrant ainsi un appui grâce auquel il va pouvoir tirer efficacement, vers le haut, les côtes sur lesquelles il est inséré. Le diaphragme, muscle inspireur, a donc une action double : il augmente le diamètre du thorax de haut en bas et il élargit le périmètre thoracique au niveau des trois dernières côtes.

2. Contrôle du débit et de la pression

Comme tout geste volontaire qui exige une grande précision, le contrôle du débit et de la pression de l'air pulmonaire s'exerce par la contraction de deux groupes de muscles dont les actions sont antagonistes. Par sa contraction

3. Au cours du premier temps de la phase inspiratoire, le diaphragme s'abaisse en repoussant les viscères tandis que l'abdomen et le périnée se distendent passivement sous l'effet de la poussée diaphragmatique. Dans le second temps, au moment où le diaphragme rencontre la résistance des viscères provoquée à la fois par la masse viscérale et le réflexe myotatique du transverse et du périnée, il ne peut pas descendre davantage et sa contraction a alors pour effet d'élever les côtes.

concentrique* l'un des groupes musculaires donne la direction au mouvement ; l'autre en se contractant de manière excentrique* freine le mouvement et permet ainsi son ajustement continu. Par exemple, lors de l'extension du coude, le triceps (extenseur du coude) se raccourcit en se contractant, tandis que le biceps (fléchisseur du coude) s'allonge progressivement tout en restant contracté, ce qui permet de moduler le mouvement. Le couple antagoniste diaphragme/muscles inspireurs et transverse/muscles expireurs fonctionne exactement de la même manière : la contraction concentrique des muscles expireurs donne la direction au mouvement expiratoire volontaire et exerce la mise sous pression de l'air pulmonaire, tandis que la contraction excentrique des muscles inspireurs, par leur rôle de modérateur, en dose avec une précision extrême le débit et la pression.

CONCLUSIONS

A. CONCLUSIONS ANATOMIQUES ET LEUR IMPACT SUR LE CHANT

En ce qui concerne le rachis cervical, le mouvement de flexion-extension de la tête sur la première vertèbre cervicale se fait autour d'un axe reliant les deux apophyses transverses de l'atlas (mouvement d'acquiescement). La libération de ce mouvement associé à un auto-grandissement cervical est fondamentale pour acquérir la liberté vocale. D'autre part, lors de l'inspiration, l'atlas repousse le crâne vers le zénith dans un mouvement antigravitaire. Cette direction d'auto-grandissement est initiée par les muscles prévertébraux qui participent à la réactivité en gainage protecteur. Demander aux futurs chanteurs de repousser l'atlas vers le ciel en inspirant permet de générer un mouvement d'auto-grandissement libéré des tensions parasites de retrait de la mandibule qui apparaissent si souvent en synergie lorsque les chanteurs adoptent la posture préphonatoire. Enfin, la mise en tension des muscles prévertébraux, associée au relâchement des muscles de la nuque est la condition nécessaire à l'inversion de la courbure cervicale indispensable à l'émission des aigus.

L'étude de la respiration montre que la position inspiratoire maintenue paradoxalement pendant l'expiration retarde la vidange expiratoire en régulant le flux d'air pulmonaire de manière à jouer sur diverses variables : la pression en anneau exercée par le transverse de l'abdomen et accessoirement par les muscles obliques, l'impulsion verticale de haut en bas du piston diaphragmatique, ainsi que la réponse verticale de bas en haut du périnée, qui vont avoir pour effet de bloquer le système hydraulique abdominal lorsque les forces musculaires enveloppant de toutes parts la masse viscérale sont égales et que l'abdomen est maintenu sous pression et immobilisé, ou de moduler la pression expiratoire quand les forces varient.

L'analyse de la mécanique ventilatoire permet de mieux préciser la position inspiratoire. L'axe vertébral est érigé, les courbures vertébrales s'effacent passivement sous l'effet de l'inspiration. L'ouverture costale volontaire doit se limiter à la dixième côte puisque les insertions diaphragmatiques ne concernent que les trois dernières

ANALYSE ANATOMO-PHYSIOLOGIQUE DES SYSTÈMES OSTÉO-ARTICULAIRE ET VENTILATOIRE IMPLIQUÉS DANS LE CHANT

côtes et que l'élévation costale ne trouve son sens que dans l'optimisation du jeu du diaphragme. Les tentatives intempestives d'ouverture thoracique au-dessus de ce niveau peuvent se solder par des douleurs intercostales postérieures dues au surmenage des intercostaux inspireurs. L'ouverture thoracique maintient la vertèbre D8 en position postérieure et la partie basse du sternum s'antériorise par le jeu costal, ce qui correspond à une sensation de dilatation antéro-postérieure qui ne doit pas être confondue avec l'élévation costale volontaire jusqu'au niveau de D8 (attache du soutien-gorge). Enfin, l'analyse biomécanique* a mis en évidence l'existence de deux appuis distincts agissant en synergie : l'appui viscéro-diaphragmatique qui s'exerce de haut en bas et participe aux variations de pression de la colonne d'air et l'appui sterno-vertébral qui s'exerce horizontalement (entretoise) pour maintenir et stabiliser l'ouverture thoracique.

B. CONCLUSION DE L'EXPERIENCE MENEÉ AU CONSERVATOIRE DE LIEGE

L'éveil de la conscience corporelle a un impact immédiat sur l'apprentissage de la technique vocale. En effet, les professeurs et les élèves ont à peu près tous des images du corps erronées ou incomplètes, ce qui explique probablement l'inefficacité des métaphores induites par le professeur chez certains étudiants alors qu'elles sont porteuses pour d'autres. Une fois acquises, les images corporelles justes viennent en aide à l'imagerie traditionnelle ou la complètent. Dès lors, se met en place entre le professeur et l'élève un raccourci langagier pertinent qui va faciliter et simplifier la communication entre eux.

Afin de préciser les idées, nous allons donner deux exemples concrets de l'efficacité des consignes dont l'origine repose sur une analyse anatomique précise :

- Après avoir situé la première vertèbre cervicale (dont les apophyses transverses sont palpables sous le lobe de l'oreille dans l'espace compris entre la branche montante de la mandibule et la mastoïde), on demande aux élèves de repousser l'atlas vers le ciel pendant l'inspiration. La colonne cervicale s'érige sans que le menton ne vienne s'écraser sur le larynx et, de

ce fait, la mandibule reste libre. Toutes les métaphores de mèche qui tire la tête ou de marionnette suspendue à son fil n'ont pas cette efficacité. Précisons toutefois que l'introduction de données anatomiques ne vise en aucun cas à faire disparaître la richesse métaphorique de l'enseignement du chant au profit d'un langage anatomique mécaniste.

- Lors de l'étude du thorax et plus particulièrement de son ouverture antéro-postérieure entre le sternum et la huitième vertèbre dorsale (D8), on suggère de placer virtuellement une entretoise entre le sternum et l'attache du soutien-gorge (au niveau de laquelle se situe D8) afin de maintenir les deux points écartés l'un de l'autre pendant l'expiration phonatoire. L'exercice proposé, pour le sentir et en constater l'effet sur la voix, consiste à demander à l'élève de prendre appui sur un gros ballon de gymnastique interposé entre son dos (au niveau de D8) et un mur, puis d'enserrer avec les bras, à la hauteur du sternum, un second ballon. On lui enjoint alors de chanter tout en repoussant les deux ballons avec cette entretoise. Le résultat sonore suffit à convaincre de l'efficacité de cette consigne et de la facilité avec laquelle elle a été comprise et appliquée par l'élève.

Notre expérience avec les élèves de chant, ainsi que l'ensemble de cette étude, nous a permis de constater que la visualisation anatomiquement correcte engendre un affinement sensoriel, une eutonie* et une précision du geste qui facilitent considérablement l'apprentissage de la technique vocale et dont le chanteur pourra rapidement apprécier les conséquences : efficacité gestuelle, élimination des tensions parasites, économie d'énergie, perfectionnement de l'instrument, prévention des pathologies professionnelles.

M. H., N. S. D. C.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier très sincèrement M. Bernard Dekaise, directeur du Conservatoire Royal de Musique de Liège qui a autorisé cette étude au sein de sa prestigieuse institution, M. François Thiry, directeur ff (faisant fonction) du CRML qui l'a officialisée en nous permettant de la poursuivre, ainsi que M^{me} Véronique Solhosse grâce à laquelle cette expérience a pu être réalisée et qui, par son talent artistique et pédagogique, son enthousiasme et sa curiosité scientifique, a contribué à en faire une réussite. Nous remercions également les élèves de chant pour leur collaboration confiante.

ANALYSE ANATOMO-PHYSIOLOGIQUE DES SYSTÈMES OSTÉO-ARTICULAIRE ET VENTILATOIRE IMPLIQUÉS DANS LE CHANT

LEXIQUE

Agoniste (muscle —) : (Gr. *agonistes* = combattant) Muscle dont l'action produit un mouvement donné, par opposition au muscle antagoniste qui s'oppose à cette action.

Antagoniste (muscle —) : Muscle qui s'oppose à une action.

Antigravitaire (Mouvement —) : Mouvement postural qui détasse le corps par une action musculaire s'opposant à la pesanteur. Peut être synonyme d'autograndissement*.

Apophyse basilaire de l'occipital : L'apophyse basilaire de l'occipital forme le plancher du crâne. Elle est percée du trou occipital (*foramen magnum*) qui permet à la moelle épinière de communiquer avec le cervelet situé dans la boîte crânienne.

Apophyse mastoïde : Mamelon osseux placé à la partie inférieure et postérieure de l'os temporal en arrière de l'oreille.

Apophyse transverse : Voir à *Vertèbre*.

Arc postérieur : Voir à *Vertèbre*

Articulation atlanto-occipitale : Articulation du crâne avec la première vertèbre cervicale, appelée atlas.

Autograndissement cervical : Manœuvre posturale permettant d'allonger la colonne vertébrale grâce aux muscles paravertébraux (transversaires-épineux, épi-épineux) qui se contractent par bouffées adaptatives, ajustant en permanence la posture par oscillation, rotation et détassement.

Biomécanique : La méthode des chaînes musculaire GDS définit le geste fonctionnel, qui respecte la physiologie du mouvement. Par l'étude minutieuse des pièces anatomiques, elle permet de déduire le fonctionnement général, mais également le fonctionnement optimal de la mécanique du corps humain. L'enquête biomécanique telle qu'elle a été réalisée pour cet article s'est inspirée de cette méthode fondée sur une analyse fine et complexe du mouvement.

Centre phrénique : (Gr. *phrên* = diaphragme) Partie centrale tendineuse du diaphragme.

Concentrique (Contraction —) : Lors de sa contraction concentrique, le muscle se raccourcit et ses extrémités se rapprochent l'une de l'autre. Quand il travaille de manière concentrique, le muscle est l'effecteur* du mouvement.

Contraction musculaire : Voir à *Concentrique* et *Excentrique*.

Cyphose : (Gr. *kuphōs* = plié) Courbure physiologique de la région dorsale à convexité postérieure.

Dysodie : Trouble de la voix chantée.

Effecteur : Organe musculaire ou glandulaire situé au terme d'un circuit nerveux, qui entre en activité en réponse à un stimulus.

Eutonie : (Gr. *eu* = bien, bon et *tonos* = tension, effort) Créé par Gerda Alexander (1908-1994), ce terme recouvre une notion de tonicité équilibrée par la recherche du tonus le mieux adapté à la tâche à accomplir.

Excentrique (Contraction —) : Lors de sa contraction excentrique, les extrémités du muscle s'éloignent l'une de l'autre ; le muscle s'allonge car la force à laquelle il cherche à s'opposer est supérieure à sa force de contraction. Quand il travaille de manière excentrique, le muscle est frénateur du mouvement. Il s'oppose à une force externe (poids du corps par exemple) ou au muscle agoniste* effecteur* du mouvement.

Extension du crâne : Renversement de la tête en arrière (antonyme : flexion*).

Flexion du crâne : Abaissement de la tête en avant (antonyme : extension*).

Foramen : Orifice naturel dans la structure d'un os ou d'un organe (synonyme : trou).

Glotte : Espace compris entre les cordes vocales. Elle est largement ouverte pendant la respiration et se ferme pendant la phonation.

Hypocyphose : Cyphose* atténuée.

Hypolordose : Lordose* atténuée.

Kinésithérapie chaîniste GDS : La méthode de kinésithérapie des chaînes GDS élaborée par Godelieve Denys-Struyf se place dans la lignée de Piret et Bézier, Mezières, Kabbat, Bobath, Sutherland. Elle s'appuie sur une analyse biomécanique extrêmement fine et précise. Muscles, aponévroses, os et articulations sont considérés en fonction de leur participation à six synergies motrices. Trois d'entre elles gèrent la station debout : une chaîne de muscles et aponévroses superficielles postéro-médiane (PM) maintient l'équilibre du corps en chute avant, une chaîne de muscles et aponévroses superficielles antéro-médiane le maintient en chute arrière (AM). Une chaîne double de muscles et aponévroses profondes à orientation postéro-antérieure/antéro-postérieure (PAAP) rythme et protège les courbures vertébrales (AP), détasse, autograndit et efface les courbures (PA). Les deux dernières, appelées chaînes relationnelles, organisent le geste en spirale des membres et du tronc par l'alternance de mouvements d'ouverture commandés par les muscles postéro-latéraux (PL) et de mouvements de fermeture régis par les muscles antéro-latéraux (AL). Chaque enchaînement signe un style gestuel, une attitude posturale, un mode comportemental, un tempérament (*Hutois et Denis-Struyf, 1995*). Le kinésithérapeute personnalise les traitements : le massage ou les exercices de rééducation sont proposés en tenant compte de la dominante posturale et des caractéristiques comportementales du patient.

Lordose : (Gr. *lordōs* = plié) Courbure physiologique à concavité postérieure des régions cervicales et lombaires.

Myotatique (Réflexe —) : (Gr. *myos* = muscle et *tasis* = contraction) Contraction tonique* réflexe d'un muscle, provoquée par son propre étirement (*Lidell & Sherrington, 1924*).

Odologie : (Gr. *ōdē* = chant et *logos* = science). Le terme a été proposé en 1970 par Nicole Scotto Di Carlo, créatrice de cette discipline. Homologué par le Conseil International de la Langue Française dès 1971 et adopté depuis par la communauté scientifique internationale, il n'a commencé à faire son entrée dans les dictionnaires français qu'en 2002. L'odologie est l'étude scientifique de la voix chantée au niveau physiologique, acoustique et perceptif. En effet, dans ses conditions habituelles de production, le chant nécessite un émetteur (l'artiste) et un récepteur (le spectateur). Pour en faire une étude à la fois exhaustive et holistique, il est indispensable de travailler sur la totalité de la chaîne qui relie l'émetteur au récepteur. L'odologue étudie donc l'émission, la transmission et la réception du son en analysant ce qui se passe au niveau du chanteur (étude physiologique), au niveau de l'onde sonore émise par le chanteur (analyse acoustique) et au niveau de l'auditeur (étude perceptive). Les domaines d'application de l'odologie sont nombreux, mais cette discipline s'adresse plus particulièrement aux professions médicales (phoniatres, orthophonistes, kinésithérapeutes, ostéopathes,

dentistes, sophrologues) et aux professions artistiques (artistes lyriques, professeurs et élèves de chant, musiciens, comédiens, professeurs et élèves d'art dramatique).

Odologue : Spécialiste d'odologie*.

Plan frontal : Plan vertical transversal coupant le corps humain parallèlement au plan du front et le divisant en une partie antérieure et une partie postérieure.

Plan sagittal : Plan vertical parallèle à un axe antéro-postérieur de la tête et passant par un point situé à mi-distance entre les deux yeux.

Pression subglottique : Pression pulmonaire au-dessous des cordes vocales.

Proprioceptive (Sensibilité —) : Terme générique regroupant les sensations d'origine musculaire, osseuse, tendineuse ou articulaire.

Rétroliothésis : (Lat. *retro* = en arrière et Gr. *lithesis* = glissement) Glissement postérieur d'un segment vertébral sur le segment sous-jacent.

Rétroversion : (Lat. *retro* = en arrière et *vertere* = tourner) Bascule en arrière d'une pièce anatomique.

Sensations : Terme utilisé par les chanteurs pour désigner l'ensemble de leurs sensibilités internes phonatoires*.

Sensibilités internes phonatoires : Sensibilités proprioceptives* essentiellement d'ordre kinesthésique (musculaires) et palloesthésique (vibratoires) ressenties au cours du chant.

Somatognosie : (Gr. *soma* = corps et *gnôsis* = connaissance) Conscience que chaque individu a de son propre corps, de la situation que celui-ci occupe dans l'espace, mais aussi de ses différentes parties et des relations qui existent entre elles.

Système nerveux autonome : Il est composé de deux systèmes anatomiques aux réactions complémentaires : la partie parasympathique anime les fonctions métaboliques restauratrices d'énergie ; la partie sympathique met l'énergie à la disposition du muscle et le prépare à l'action.

Système nerveux sympathique : Une des branches du système nerveux autonome* ou végétatif.

Tonique : Qui a rapport au tonus, à la tonicité.

Vertèbre : Les vertèbres présentent en avant un corps vertébral et en arrière un arc postérieur appelé également arc osseux ou arc neural. L'arc postérieur est formé de deux pédicules, de deux lames vertébrales, d'une apophyse épineuse, de deux apophyses transverses et de quatre apophyses articulaires (deux supérieures et deux inférieures) (cf. figure 7).

Vertex : Point le plus élevé de la voûte crânienne. Par extension : sommet du crâne.

RÉSUMÉ

Une analyse biomécanique très fine des différents mécanismes physiologiques impliqués dans le chant a été réalisée dans le but de définir un geste vocal optimal et performant, conforme aux lois de la biomécanique et libéré des tensions parasites, ainsi que des variantes inefficaces et parfois dangereuses qui l'encombrent chez les chanteurs débutants. Le résultat de cette analyse a été testé avec succès sur des élèves d'une classe de chant du Conservatoire Royal de Liège sous la forme d'une méthode active à plusieurs entrées sensorielles. En effet, l'étude de l'anatomo-physiologie du mouvement, de la statique corporelle et de la dynamique ventilatoire appliquée au chant lyrique, permet de formuler les consignes de manière à ce qu'elles induisent le geste juste, précise les métaphores utilisées traditionnellement par les professeurs de chant et instaure un raccourci langagier pertinent entre professeur et élève.
Mots clés : chant ; chanteur ; anatomo-physiologie ; analyse biomécanique ; système ostéo-articulaire ; rachis ; diaphragme ; respiration.

Anatomical-Physiological Analysis of the Osteo-Articular and Respiratory Systems Involved in Singing

A highly precise biomechanical analysis of the physiological mechanisms involved in singing was conducted in order to enable beginners to achieve an optimal, efficient vocal gesture freed from parasitic muscular tension and useless or even potentially dangerous variations that encumber their vocal production.

The results of this analysis were successfully tested on singing students at the Conservatoire Royal de Musique in Liège, Belgium, via an active, basic method with multiple sensory entries. Indeed, the study of the anatomico-physiology of movement, postural equilibrium, and respiratory dynamics, when applied to classical singing, allows teachers to formulate effective instructions that will trigger the proper vocal gestures. Moreover, by furnishing an accurate description of the metaphors traditionally used by singing teachers, it helps them set up relevant expressions to establish rapid communication with their students.

KEY WORDS: singing voice; singer; anatomo-physiology; biomechanical analysis; osteo-articular system; spine; diaphragm; respiration.

La visualisation anatomiquement correcte engendre un affinement sensoriel, une eutonnie et une précision du geste qui facilitent considérablement l'apprentissage de la technique vocale et dont le chanteur pourra rapidement apprécier les conséquences bénéfiques.

BIBLIOGRAPHIE

- ASTRAQUILLO (C. J.), BLATT (I. M.), HOPPEL (L.), MARTINEZ (R.), Investigation of the Relationship between Abdominal Muscular Discipline and the Art of Singing : an Electromyographic Study, *American Academy of Ophthalmology and Otolaryngology*, 1977, 84, p. 498-519 2.
- GOSLING (J. A.) et al., *Anatomie Humaine*, (traduction française d'Antoine Dhém), De Boeck Université, Bruxelles, 2003, 396 pages.
- HUTOIS (M.), DENIS-STRUYF (G.), Chaînes musculaires GDS et psychomotricité : mise en forme posturale, *Thérapie psychomotrice et recherche*, 1995, 104, p. 72-77.
- KAPANDJI (I. A.), *Physiologie articulaire*, Vol. 3, Tronc et rachis, Maloine, Paris, 2004, 255 pages.
- LASSALLE (A.), *Les stratégies respiratoires de la chanteuse lyrique*, DEA "Langage et Parole, Option Phonétique, Mention Pathologie", Université de Provence, 2002, 164 pages.
- LIDELL (E. T. G.), SHERRINGTON, (C.), Reflexes in response to stretch (myotatic reflexes), *Proceedings of the Royal Society of London*, 1924, vol. 96, 675, p. 212-242.
- MORRIS (J. M.), LUCAS (D. B.), BRESLER (B.), Role of the stability of the spine, *Bone Joint Surgery*, 1961, 43 A, p. 327-351.
- PEREZ-CHRISTIAENS (N.), *Etre d'aplomb*, Institut Supérieur d'Aplomb, Paris, 1983, 118 pages.
- SABOURIN (F.), Pathologie rachidienne microtraumatique et danse, *Médecine des Arts*, 1996, 15, p. 37.
- SCOTTO DI CARLO (N.), Mémoire proprioceptive et apprentissage du chant, *Bulletin de l'Académie de Chant*, 1996-1997, 5, p. 10-15.
- SCOTTO DI CARLO (N.), Cervical Spine Abnormalities in Professional Opera Singers, *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 1998, 50, 4, p. 212-218.
- THIESCE (A.), 2007, in <http://www.noureev-medical.org/danse_recherche2.php?selection=33#>
- TORAN (E.), Classical Dancer's Neck, 2005, <http://www.nureyev-medical.org/danse_recherche2.php?selection=232>
- THORPE (C. W.), CALA (S. J.), CHAPMAN (J.), DAVIS (P. J.), Patterns of Breath Support in Projection of the Singing Voice, *Journal of Voice*, 2001, 15, p. 86-104.
- WATSON (P. J.), HOIT (J.), LENSING (R.), HIXON (T.), Abdominal Muscle Activity during Classical Singing, *Journal of Voice*, 1989, 3, p. 24-31.
- WATSON (P. J.), HIXON (T. J.), Respiratory Kinematics in Female Classical Singers, *Journal of Voice*, 1990, 4, p. 120-128.